INVESTIGACION y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

DESEQUILIBRIOS DE LA ECONOMIA ESPAÑOLA

VOLADURAS CONTROLADAS DE EDIFICIOS

SECRETOS DE LA COMPUTACION CUANTICA



TRES SOLES

DICIEMBRE 1995
800 PTAS.



Diciembre de 1995 Número 231

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN 150 YEARS OF INNOVATION

SECCIONES

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Mónica Murphy: *Las compañeras de las estrellas jóvenes*; Luis Bou: *Computación mecánico-cuántica* y *Juegos matemáticos*; José Antonio Garrido: *Voladura por implosión*; Esteban Santiago: *Biología molecular de la olfacción*; J. Vilardell: *Cuadernos de laboratorio de Thomas Edison* y *Hace...*; Ana M.ª Rubio: *¿Cáncer de mama producido por estrógenos?*; J. M. García de la Mora: *Ciencia del Tercer Mundo*; A. Garcimartín: *Perfiles.*

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Portada: Alfred T. Kamajian

Página	Fuente
7-13	Antonio Pulido
15	David Malin *ROE*/Observatorio anglo-australiano
16	Wolfgang Brandner, Universidad de Würzburg (*arriba*); Carey Ballard (*abajo*)
17	Alfred T. Kamajian
18	Alan P. Boss (*izquierda*); Carey Ballard (*derecha*)
19	Alan P. Boss (*arriba*); Ian A. Bonnell y Matthew R. Bate (*abajo*)
20-21	Boris Starosta
22-23	Michael Goodman
24	Michael Goodman
25	Geoffrey Wheeler (*izquierda*); Instituto Nacional de Pesos y Medidas (*derecha*)
40-41	Ken Regan, *Camera 5*
44-45	Ken Regan, *Camera 5* (*arriba*); Thomas C. Moore (*abajo*)
46-47	Ken Regan, *Camera 5*
48	CIFRA GRÁFICA
50-51	Roberto Osti
52	Cortesía de *Journal of Comparative Neurology*; realzadas digitalmente por Andrew Paul Leonard
53	Roberto Osti
54-55	Peter Mombaerts (*arriba*); Steve K. Chao y Robert Vassar, cortesía de *Cell* (*abajo*)
56-61	Páginas del cuaderno de notas y fotografías cortesía del Centro Histórico Nacional Edison; páginas fotografiadas por Beth Phillips
62-63	Wesley Hitt, *Gamma Liaison*; Johnny Johnson (*derecha*)
64	Tomo Narashima
66	Johnny Johnson (*gráfico*); Thomas L. Klug (*fotografía*)
67	J. G. Sikarskie, Universidad del Estado de Michigan (*arriba*); Fundación Mundial para la Protección de la Vida Salvaje (*centro*); Chip Clark, Institución Smithsoniana; las conchas son cortesía de Phillip Gibbon (*abajo*)
70-71	Laurie Grace
72-73	Laurie Grace (*gráficos*) Tom Hartwell *SABA* (*fotografías*)
76-78	Laurie Grace
79	Keith Dannemiller *SABA*
84	Johnny Johnson



La portada muestra la vista que se contemplaría sobre el borde de un planeta que describiese su órbita alrededor de una estrella que forma parte de un sistema triple. Formando grupos de dos, tres o incluso cuatro miembros hay un gran número de estrellas parecidas a nuestro Sol. Sin embargo, hasta hace poco no se había descubierto que entre las estrellas que se encuentran en etapas muy tempranas de su evolución también había grupos así (*véase* "Las compañeras de las estrellas jóvenes" por Alan P. Boss, en este mismo número).

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
Carmen Lebrón Pérez
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (ESPAÑA)
Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway, *News Editor*; Ricki L. Rusting, *Associate Editor*; Timothy M. Beardsley; W. Wayt Gibbs; John Horgan, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler; Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider; Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette
PRODUCTION Richard Sasso
CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley
CO-CHAIRMAN Dr. Pierre Gerckens
DIRECTOR, ELECTRONIC PUBLISHING Martin Paul

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas
Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. (93) 321 21 14
Fax (93) 414 54 13



ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 – 08907 L'Hospitalet (Barcelona)
Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

Los espacios en gris
corresponden a publicidad
en la edición impresa

Hace...

..cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «Considerando la energía atómica como una añadidura a las reservas mundiales de combustible, el Comité Nacional de Turbinas de Gas ha publicado un informe en el que se lee: “La energía atómica no sustituirá a los combustibles actuales, sino que los complementará, lo mismo que el petróleo complementa al carbón.” El comité está considerando las posibilidades de futuros grupos para centrales eléctricas “de más de 200.000 kilowatts, que empleen tanto el combustible actual como energía atómica para conseguir el máximo rendimiento”.»

«Quienes se interesen por el desarrollo de la aviación, comercial o privada, convendría que dispensaran una atención seria al desarrollo de aeropuertos de aspecto más agradable.»

«Para mostrar que el plástico puede ser a la vez atractivo y funcional en el mobiliario de los hogares se ha construido un dormitorio de tamaño natural y compacto. Tanto el decorado como la iluminación de la habitación se encuentran en las paredes, formadas por una lámina de plexiglás con dibujos gravados y pintados en ella. Unas lámparas fluorescentes iluminan indirectamente las paredes, haciendo que éstas brillen radiantemente. La silla es un tambor formado con láminas de resina acrílica. Una banda plana de plástico acrílico actúa a modo de guía de unas cortinas de cloruro de polivinilo multirrayadas. Más importante que la facilidad de instalación es que esas piezas pueden limpiarse con un trapo húmedo.»

...cien años

SCIENTIFIC AMERICAN: «La síntesis práctica del carbono y el hidrógeno a pequeña escala de laboratorio ha representado uno de los triunfos de la química. La producción comercial de carbono e hidrógeno tal como ejemplifica el gas acetileno constituyó uno de las muestras más sorprendentes de la Exposición de Atlanta. El gas fue mostrado en forma práctica, generado en un aparato de desprendimiento portátil, y también tal como se quema directamente saliendo de cilindros de compresión, donde estaba almacenado en forma líquida. El gas se consumía en mecheros abiertos y en distintas versiones de lámparas para carruajes, siendo una de sus posibles aplicaciones la iluminación de coches de ferrocarril.»

«Un acreditado fabricante de incubadoras de huevos acaba de introducir en el mercado un modelo que se calienta y regula mediante electricidad. Se afirma que la temperatura puede ajustarse para que se mantenga durante semanas dentro de una fracción de grado del punto deseado. En la “Gallina Eléctrica”, el calor está gobernado por una caja de resistencias, a través de la que fluye una corriente que puede regularse con extrema precisión.»

«Según informes consulares, se confirma la existencia de asfalto en el valle del Jordán y se supone que se encontrará petróleo. La puesta en explotación de las ricas reservas minerales de la cuenca del mar Muerto se considera una empresa muy lucrativa, para la cual, empero, costará encontrar capital extranjero, ya que la situación legal de los titulares de tierras en aquellas regiones es muy insegura.»

«En la ilustración que acompaña se muestra una escala de incendios portátil, simple y barata, que puede plegarse para que quepa en un baúl o saco de un viajero. Se compone de una mordaza adaptada para que deslice por una soga, a la cual pueden fijarse correas para cuerpo y hombros. La presión de agarre o de fricción sobre la soga puede controlarla la misma persona que emplea el artefacto. Cuando éste se fija permanentemente en domicilios particulares o plantas fabriles, es preferible sujetar la soga a un brazo articulado asegurado al interior de la ventana.»



Escala de incendios portátil de patente Leber

...ciento cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «La obra de Alexander von Humboldt *Cosmos*, que ahora se publica, habla de los cometas como de “una hueste innúmera”. Según las leyes de las probabilidades, descubrimos que deben ascender a miríadas. Afirma Johannes Kepler que en las profundidades del espacio hay más cometas que peces en el fondo de los océanos.»

«Es una opinión comúnmente sostenida, entre quienes no han prestado especial atención a las leyes del movimiento, que la misma cantidad de fuerza y energía que lanzaría una bola de diez kilos de peso con una velocidad de diez metros por segundo bastaría para lanzar una bola de cinco kilos de peso con una velocidad de veinte metros por segundo. Y en esta errónea opinión muchos han fundamentado sus cálculos en lo que respecta a nuevas estructuras de maquinaria; los resultados los han desilusionado. En efecto, se requiere el doble de energía para proyectar la bola más pequeña con una velocidad doble.»

Desequilibrios de la economía española

La economía es una ciencia que se enfrenta a un momento dinámico, complejo y cambiante. Por ello, a nadie debiera extrañarle que no pueda dar soluciones exactas, ni alcanzar equilibrios estables

Antonio Pulido San Román

Como todo cuerpo en movimiento, la economía mantiene posturas con equilibrios cambiantes e incluso con desequilibrios que pueden afectar su estabilidad futura. Por ello, el concepto de equilibrio en economía es muy flexible dentro de unos márgenes. No se piense que, como en un problema de física, sólo hay un punto de equilibrio. La economía tiene equilibrios muy distintos, como múltiples son las posturas que puede adoptar el cuerpo humano sin llegar a caerse.

Habitualmente, los economistas se fijan en unos cuantos aspectos para concretar los riesgos de perder el equilibrio que garantice un crecimiento "sostenido" de la economía de un país durante los próximos meses, trimestres o incluso años. Estos "desequilibrios básicos" son cuatro: paro, inflación, déficit público y déficit exterior. El paro, como indicativo de una inadecuada utilización de los recursos humanos disponibles; la inflación, en cuanto introduce perturbaciones que terminan afectando al crecimiento; el déficit público, como posible responsable de la utilización de una parte excesiva de los recursos disponibles para otras inversiones alternativas, y el déficit exterior, como muestra de las necesidades del país de acudir al ahorro internacional.

Por supuesto, el equilibrio no consiste en que no haya nadie en paro, los precios se mantengan sin subir ni bajar, el Estado gaste exactamente lo que ingresa por impuestos u otras contribuciones y rentas, el país obtenga unos ingresos por las ventas de bienes y servicios más otras rentas y transferencias, exactamente iguales a los pagos por estos conceptos.

Es inevitable que exista un paro "friccional", que se produce por múltiples motivos tales como desajustes de información, restricciones a la movilidad de las personas o simples fallos de información y tiempos de trámite en la selección y contratación de personal. Igualmente, la "inflación-cero" es casi una utopía de escasa utilidad práctica, que incluso se considera incompatible con una cierta alegría en el crecimiento. Por otra parte, el sector público tiene un papel en cuanto a solidaridad social, política económica anticíclica y proyectos estratégicos a largo plazo, que justifica el que existan años de déficit frente a otros de superávit. Finalmente, el sector exterior puede ayudar a complementar el ahorro nacional con el de otros países que tienen recursos en exceso para las posibilidades de crecimiento que presentan sus economías.

Como ocurre en los análisis de sangre, todo el mundo tiene algo de colesterol, transaminasas o ácido úrico. Lo importante es comprobar si se mantiene en los límites normales o puede empezar a suponer un factor de riesgo. Para determinar estos márgenes en cuanto a desequilibrios económicos se siguen dos procedimientos principales: comparación con la situación en otros países y análisis de los efectos que han tenido en el pasado diferentes niveles de paro, inflación o déficit público o exterior.

Empecemos por la comparación con la situación en otros países. En la primera línea de valoración de desequilibrios admisibles, la Unión Europea (UE) fijó en el Tratado de Maastricht (1992) unos criterios relativos o "criterios de convergencia", que sólo afectaban a dos de los cuatro aspectos mencionados: inflación y déficit público. Sin embargo, para la nueva cumbre que se está preparando, a celebrar en 1996, ya se quieren añadir otros criterios sobre paro y déficit exterior.

Los criterios de Maastricht que afectan directamente a la inflación y al déficit público son:

1. El crecimiento de los precios de consumo de las familias no debe ser superior a 1,5 puntos de porcentaje sobre la media de los tres países con menor crecimiento. Así, si los países más moderados en precios han sido Francia (1,7 %), Bélgica (1,8 %) y Finlandia (1,9 %), el límite máximo admisible de inflación es de 1,8 % (media) + 1,5 % (desfase admisible) = 3,3 %.

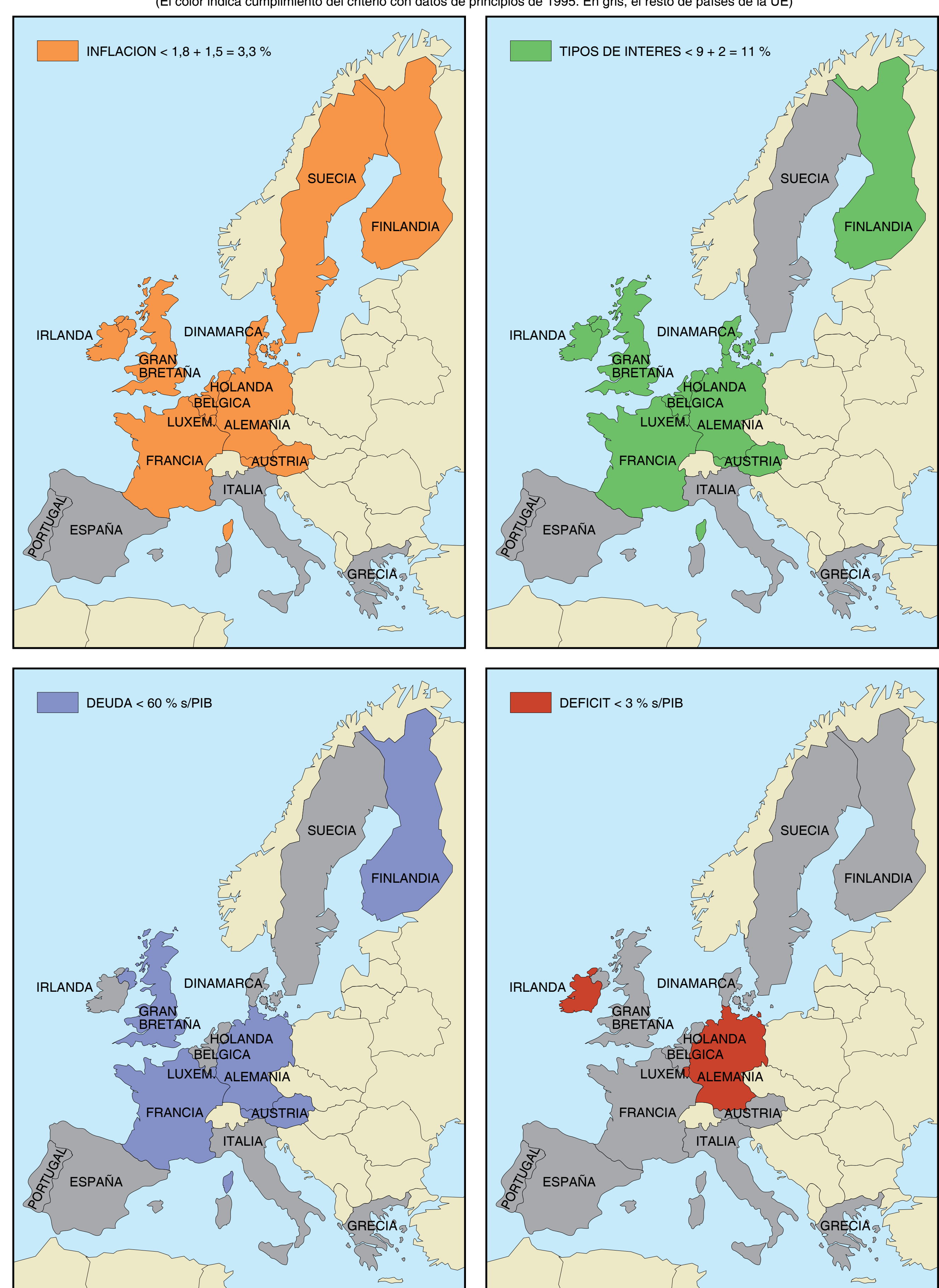
2. El déficit público no deberá exceder a una cifra equivalente al 3 por ciento del Producto Interior Bruto (PIB) del país respectivo. Si en España el PIB para 1995 es de unos 70 billones de pesetas, los gastos públicos no deberían exceder a los ingresos en más de 2,1 billones.

ANTONIO PULIDO es catedrático de econometría en la Universidad Autónoma de Madrid. Ha dedicado su vida profesional a la enseñanza y la investigación de temas de predicción económica y empresarial. Autor de diversos libros técnicos sobre modelización, técnicas de predicción y estrategia empresarial, dirige el Centro Lawrence R. Klein.

1. SEGUN LOS CRITERIOS de convergencia establecidos en Maastricht, los desequilibrios son múltiples en la Europa del sur. Sólo Alemania y Luxemburgo están en una posición cien por cien correcta. El resto está aún en proceso de convergencia.

CUMPLIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE CONVERGENCIA

(El color indica cumplimiento del criterio con datos de principios de 1995. En gris, el resto de países de la UE)



CRITERIOS DE CONVERGENCIA			
VARIABLE	DISCREPANCIA MAXIMA	REFERENCIA	FECHA
Precios (IPC)	+ 1,5 %	3 países con mayor estabilidad en precios	T-1 año
Tipo de cambio	2,25 % (ampliado al 15 %)	SME	T-2 años
Tipos de interés (nominal a largo plazo)	+ 2 %	3 países con mayor estabilidad en precios	T-1 año
Déficit público	3 % s/PIB	País	T
Deuda pública	60 % s/PIB	País	T

T = Fecha del examen para los informes preceptivos de la Comisión y el Instituto Monetario Europeo (IME), que deberán estar disponibles a más tardar el 31 de diciembre de 1996.

2. LAS PREGUNTAS DEL EXAMEN y la forma de valorar las respuestas ya se han establecido con tiempo. ¿Habrá algún cambio de última hora?

Sin embargo, los criterios de Maastricht incluyen algunos otros criterios complementarios. Dado que el déficit público puede acumularse año tras año, agravando el problema, se establece una restricción sobre el total de la deuda pública "viva".

3. La deuda pública acumulada por un país no debe exceder del 60 % del PIB correspondiente. El límite, pues, para España sería 60 % × 70 billones, es decir, 42 billones.

Pero una elevada deuda pública obliga a emitir y refinanciar a su vencimiento cifras importantes que deben ser compradas por los inversores financieros de dentro y fuera del país, lo que exigirá tipos de interés o de rendimiento suficientemente atractivos. Como, además, el inversor querrá defenderse de la pérdida de valor por la inflación, los tipos serán también más elevados si se temen en el futuro riesgos de elevación más rápida de precios. Por todo ello, los tipos de interés a largo plazo miden conjuntamente el efecto de inflación y endeudamiento público.

4. Los tipos de interés nominal a largo plazo (habitualmente rendimiento de la deuda pública a 10 años) deben mantenerse por debajo de los 2 puntos de porcentaje adicionales al tipo medio en los tres países de inflación más reducida. Así, si en este momento Francia, Bélgica y Finlandia tienen un tipo de interés a largo del 9 % como promedio, España no deberá superar el 11 %.

Por último, en Maastricht se fijó un criterio complementario para el tipo de cambio de la moneda, de acuerdo con unas bandas de fluctuación entre las que debería mantenerse cualquier divisa que se integrase en el Sistema Monetario Europeo. Como el tipo de cambio relativo viene afectado por la inflación diferencial, por los tipos de interés relativos y por la demanda de moneda que provoca el déficit de la balanza exterior, la estabilidad cambiaria es una garantía adicional de equilibrio.

5. Los márgenes considerados como normales de fluctuación entre monedas se establecieron a la firma del tratado en ±2,25 %, aunque se ampliaban para algunos países como España e Italia al ±6 % y, desde la crisis cambiaria de finales de 1992 y primera mitad de 1993, se pasó al ±15 % (julio de 1993) para todas las monedas. Por tanto, hoy día y tras sucesivas devaluaciones (que son otros tantos signos de desequilibrios no aceptables dentro del SME) la divisa española tiene un cambio de referencia respecto al marco de 85 pesetas por marco (exactamente 85,07 desde el seis de marzo de 1995), lo que sitúa sus límites mínimo y máximo entre 73 y 99 pesetas por marco.

Aún podríamos añadir dos criterios adicionales de convergencia hacia un equilibrio común que pudieran considerarse en próximas reuniones de la Unión Europea. Con respecto al déficit exterior podría ser algo así como:

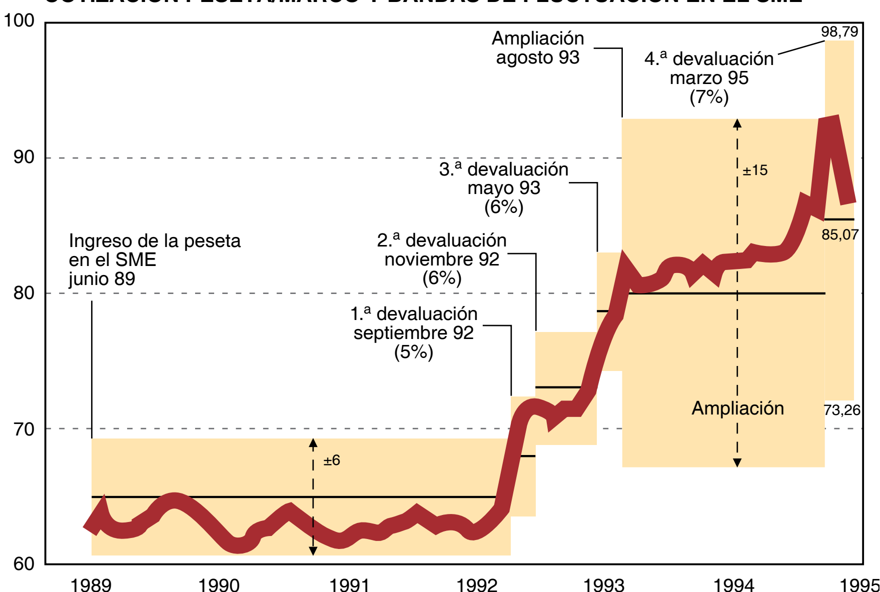
6. Aceptar un déficit de la balanza por cuenta corriente de hasta un 2 % del PIB. Es decir, unas necesidades de financiación internacional de la economía en su conjunto para España del orden del 2 % × 70 billones.

Similarmente, podría tratarse el paro aceptable con un criterio tal como el siguiente:

7. Nivel máximo de paro equivalente a un porcentaje respecto a la población activa (tasa de paro) hasta 5 puntos de porcentaje por encima de la media de la UE. Dado que la tasa de paro de la Unión está en 10,9 % (casi 11 personas en paro de cada 100 que desean trabajar), la tasa aceptable para España llegaría hasta cerca del 16 %.

Pasemos al segundo procedimiento, el de los análisis de los efectos del paro, inflación y déficit.

El nivel de vida de un país va aparejado a su capacidad para encontrar ocupación a sus habitantes. El creci-



3. ENTRE 1989 Y 1992 sólo se necesitaban 65 pesetas, como máximo, para comprar un marco alemán. Hoy día estamos por encima de las 85 pesetas.

miento económico depende y condiciona, a su vez, la marcha del empleo y el paro.

Si España tiene un PIB por habitante equivalente al 65 % de la media de la UE, ello es consecuencia, en primer lugar, de que en nuestro país trabajan menos personas. Los cálculos son inmediatos: en España buscan trabajo (tasa de actividad) un 39 % de la población, frente al 45 % en la UE; en España no encuentran trabajo (tasa de paro) un 22 % de los que lo buscan, frente al 12 % en la UE. En resumen, en nuestro país, actualmente, terminan trabajando un 30 % de los habitantes frente al 40 % de la UE. Sólo por este motivo nos correspondería tener un nivel de vida equivalente aproximadamente a tres cuartas partes de la media comunitaria. Las diferencias en la producción por persona empleada (productividad) podrían explicar el resto del desfase en nivel de vida.

4. DE 39 MILLONES DE ESPAÑOLES sólo 12 quieren y pueden encontrar trabajo. Cada trabajador debe mantener, pues, a otras dos personas y alguno a tres.

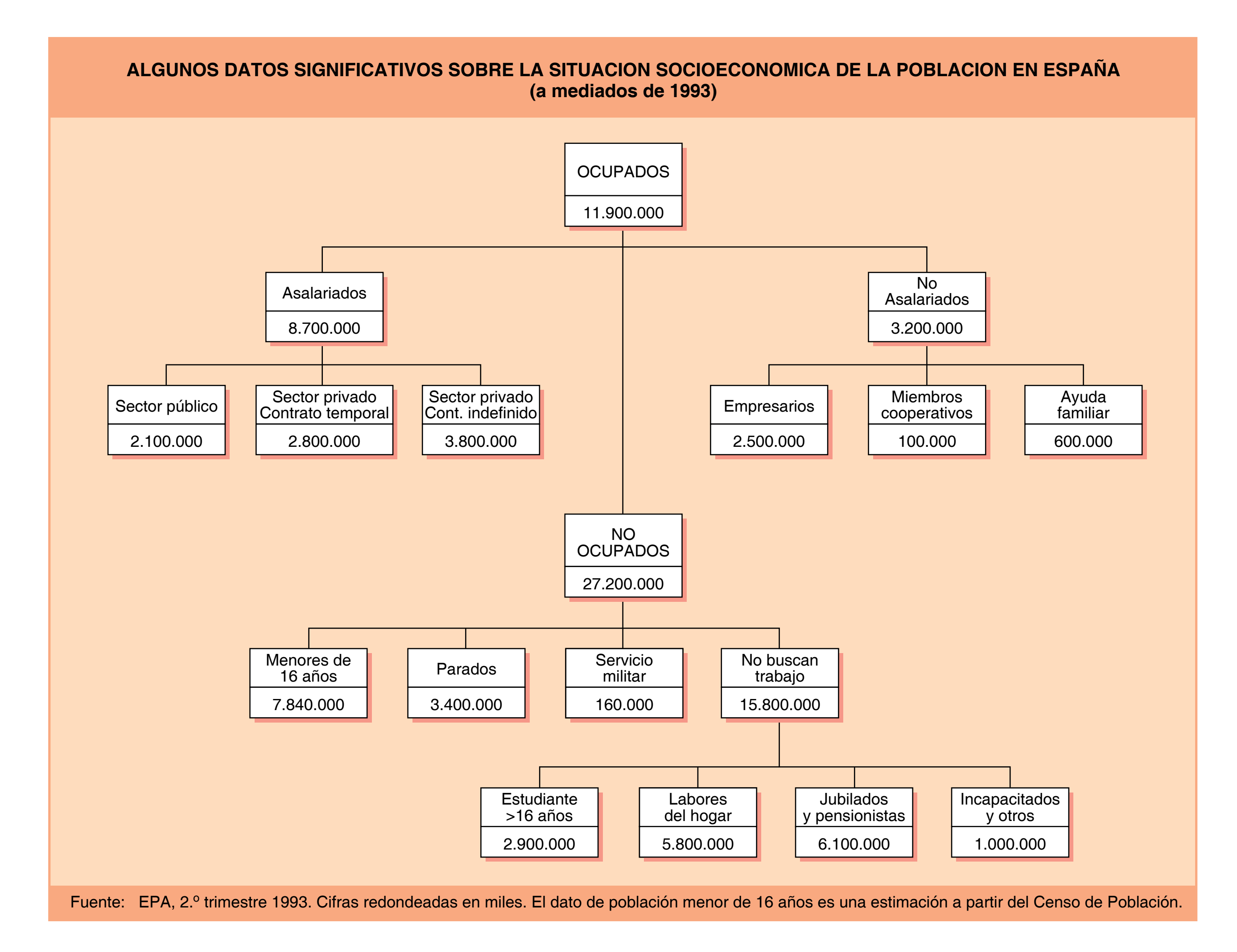
DESEQUILIBRIOS, CRITERIOS DE CONVERGENCIA Y SITUACION DE ESPAÑA

TIPO DE DESEQUILIBRIO	INDICADOR	INTERVALO ACEPTABLE	SITUACION ACTUAL
1. Inflación	IPC	0 a 3,3 %	4,8 %
2. Déficit público	Necesidades financieras AA.PP.	0 a 3 %	6,7 %
3. Déficit público acumulado	Deuda viva	0 a 60 % PIB	62,7 %
4. Déficit/inflación	Tipos de interés a largo	0 a 11 %	12,5 %
5. Déficit/inflación	Tipos de cambio del marco	73 a 99 ptas.	92
6. Déficit exterior	Saldo balanza por cuenta corriente	0 a 2 %	1,4 %
7. Paro	Tasa de paro	0 a 16 %	24,2 %

(Datos referidos a marzo de 1995, excepto déficits, deuda pública y paro que corresponden a la situación a finales de 1994).

Evidentemente, la situación ideal para un país es la de "pleno empleo", que no consiste en que trabajen todos sus habitantes, sino en que encuentren empleo "casi" todos los que lo busquen. Siempre habrá personas que no deseen o no puedan trabajar (rentistas, jubilados, menores de edad, estudiantes, inválidos, dedicados exclusivamente a labores del hogar, etc.); al igual que es inevitable que exista gente que, en algún momento, se encuentre en paro aunque incluso existan puestos por cubrir, en algún otro

ALGUNOS DATOS SIGNIFICATIVOS SOBRE LA SITUACION SOCIOECONOMICA DE LA POBLACION EN ESPAÑA (a mediados de 1993)



Fuente: EPA, 2.º trimestre 1993. Cifras redondeadas en miles. El dato de población menor de 16 años es una estimación a partir del Censo de Población.

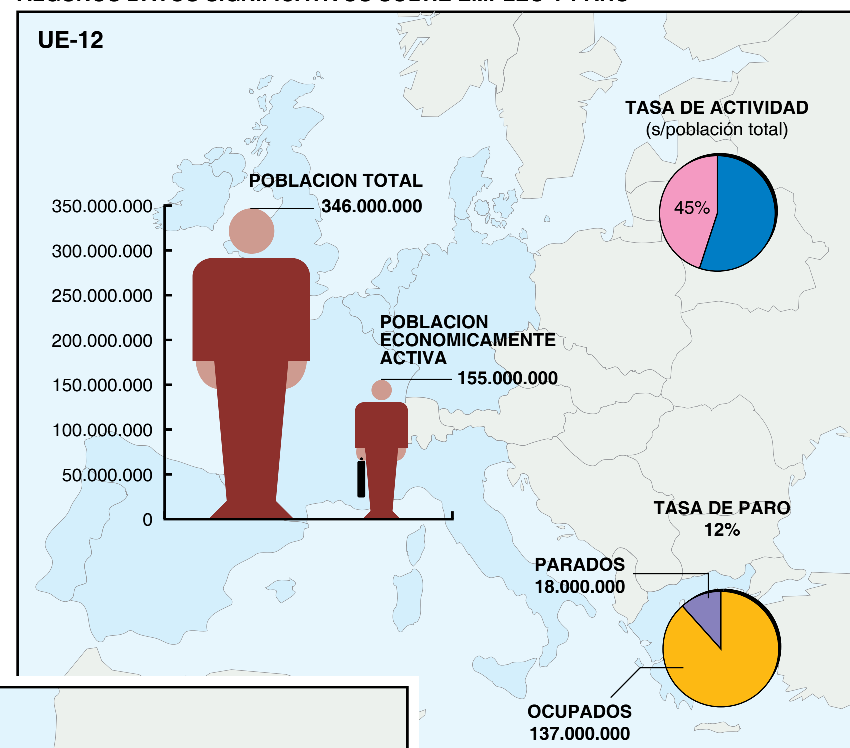
lugar y para determinados tipos de formación.

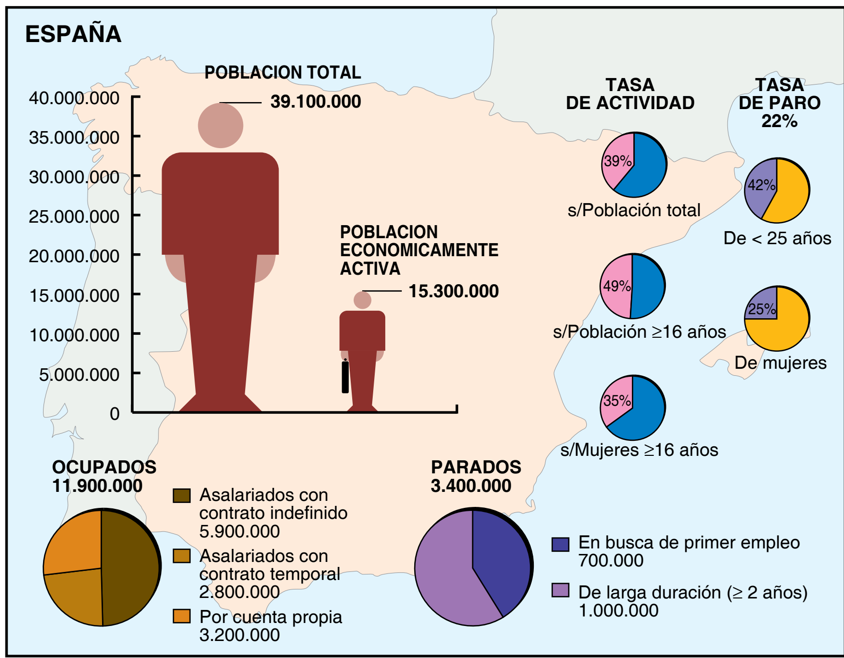
Admitiendo como normal una tasa de actividad (personas que desean trabajar) del 45 % y una tasa de paro (porcentaje de parados entre los que desean trabajar) del 3 %, en España deberían tener trabajo efectivo unos 17 millones de los 39 millones de residentes, frente a los menos de 12 millones ocupados en realidad. Incluso con tasas de actividad y paro en la media europea (a pesar de que esta última se considera inaceptable por los países que componen la Unión), España debería poder ocupar unos 15 millones y medio de personas. En resumen, para igualarnos laboralmente con Europa, en promedio, necesitamos unos tres millones y medio de nuevos puestos de trabajo y para alcanzar el "pleno empleo" unos 5 millones.

El problema está en que, en una economía abierta y en fuerte competencia con otros países, las mejoras de productividad (mayor producción por empleado) destruyen permanentemente empleo. Un país aislado puede producir bienes y servicios utilizando todas las personas disponibles; un país que tiene que exportar y puede libremente importar productos más baratos ha de cuidar la cantidad de trabajo que incorpora a su estructura de costes.

La España de 1976, que inicia la transición política y económica, tiene apenas medio millón de personas en paro y casi 13 millones de personas trabajando. Diez años más tarde, al integrarnos en la CEE, ya se ha producido un primer acople de la estructura productiva del país, que da sólo ocupación a 11 millones de personas. Los 2 millones de puestos de trabajo perdidos (mayor productividad), unidos al paro precedente y a los mayores deseos de trabajo (mayor tasa de actividad), conducen a los 3 millones de parados que la economía presenta en 1986. Desde entonces, sólo ha sido posible generar unos 800.000 nuevos puestos de trabajo netos, que han sido insuficientes para reducir el nivel de paro, dados los incrementos de población dispuesta a trabajar.

ALGUNOS DATOS SIGNIFICATIVOS SOBRE EMPLEO Y PARO





Fuente: Para la UE, Eurostat, datos referidos a 1993. Cifras redondeadas en cientos de miles de personas. Para España, INE, Encuesta de Población Activa, 2.º Trimestre 1993, y elaboración propia.

Existe, pues, un profundo desequilibrio estructural en términos de empleo. Desequilibrio que se inicia hace ya unos 20 años con la apertura a Europa de la economía española y que se mantiene con altibajos cíclicos desde hace años.

Con mejoras de productividad del orden del 2 % anual (es decir, con capacidad para producir lo mismo con un ahorro del 2 % en el trabajo empleado el año anterior), cada año vienen a destruirse automáticamente unos 240.000 puestos de trabajo (2 % sobre 12 millones de ocupados). Sólo crecimientos del PIB por encima del 2 % a precios constantes hacen factible, a medio plazo, la creación "neta" de empleo. Pero cubrir las mejoras de productividad y converger con Europa en actividad y paro, supondría crear más de 600.000 puestos de trabajo (incluidos los perdidos por mejoras de productividad) por año y eso sólo es compatible con altas tasas de crecimiento en la producción de bienes y servicios. ¿Es posible mantener ritmos de crecimiento sostenidos para la economía española del orden del 5 %? ¿O son estos ritmos incompatibles con otros desequilibrios básicos en inflación o déficit público o exterior?

El gran debate gira en torno a la siguiente cuestión: ¿hasta dónde es

posible crecer sin desequilibrios inflacionarios? Ni las teorías económicas ni las experiencias concretas de países, proporcionan una respuesta única a la relación entre crecimiento e inflación. Hay, sin embargo, una opinión predominante basada en dos puntos:

1. la aceleración del crecimiento "tiende" a generar también una aceleración en términos de inflación;
2. una inflación al alza termina provocando medidas económicas restrictivas, para su control, que "tienden" a reducir el crecimiento económico futuro.

Es decir, un crecimiento "excesivo" es un factor de riesgo para la inflación, cuya corrección puede conducir a políticas "restrictivas" que reduzcan el crecimiento futuro. Existe así un difícil equilibrio a mantener para alcanzar la máxima "velocidad de crucero"; si nos pasamos de velocidad y cambiamos mayor crecimiento hoy por menor crecimiento mañana, sometemos a la economía a oscilaciones cíclicas perturbadoras y, posiblemente, al cabo de los años terminaremos pagando las impaciencias con un resultado final acumulado más pobre.

Pero no es fácil pasar de estos principios generales a unas normas concretas de actuación, en términos de las medidas de política económica más recomendables en cada momento. Al menos hay que responder a cuatro cuestiones consecutivas: *a*) cuál es una tasa de inflación aceptable; *b*) cómo detectar los primeros síntomas que conducirán, tiempo después, a un repunte inflacionista; *c*) qué tipo de medidas resultan efectivas para evitar estos repuntes de precios; *d*) cuándo deben aplicarse para que sean efectivas.

Respecto a la tasa de inflación admisible, no hay un acuerdo general, aunque se acepta que debe estar por debajo del 5 % y en línea con la de aquellos otros países con los que se tenga una relación más estrecha. Para España, el margen de maniobra puede estar en el 3-5 %.

Ahora bien, no basta con tener un nivel de inflación suficientemente bajo, sino que hay que evitar aceleraciones o repuntes en momentos especialmente delicados de fuerte expansión económica. El problema está en que para calificar de fuerte o excesivo un ritmo de crecimiento, es preciso previamente definir lo que se entiende como normal o mantenible. Entre las propuestas más habituales, están las que se basan en la menor tasa de paro no inflacionista, en el máximo de utilización de la capacidad productiva y en la determinación del PIB potencial.

En el primer caso, la tasa de paro no aceleradora de la inflación o NAIRU ("*N*on *A*ccelerating *I*nflation *R*ate of *U*nemployment) es el límite en que una demanda adicional de empleo se traslada preferentemente a una elevación de salarios (y, como consecuencia, de costes y precios), por la propia escasez relativa de trabajadores frente a los puestos de trabajo disponibles. Ya indicamos que un paro "friccional" es inevitable incluso en condiciones de pleno empleo. Pero además, según las circunstancias, otras personas en paro pueden no poder o incluso no querer trabajar (formación, exigencias laborales, prestación de desempleo, etc.). Para algunos, la tasa NAIRU estaría ligeramente por encima del 10 % en la UE y del 15 % en la España actual. Cualquier reducción del paro por debajo de estos niveles sería inflacionista, al menos si no se producen reformas estructurales que alienten la búsqueda activa de empleo.

Otra opción consiste en determinar *a priori* una utilización razonable de la capacidad productiva y considerar que cualquier "sobreutilización" termina incentivando la ampliación de márgenes o el empleo de recursos extraordinarios más costosos y, por tanto, la elevación de precios. Pero como la capacidad productiva cambia con el tiempo, un análisis más detenido exige conocer la producción potencial o tendencial y, a partir de ella, el desfase de producción en cada momento del tiempo ("output gap"). Así, si admitimos que un país como España puede crecer en forma sostenida a un 2,5-3 %, los años de crecimiento más lento del PIB acumulan

LA SITUACION LABORAL EN ESPAÑA EN TRES MOMENTOS CLAVE (millones de personas y porcentajes)

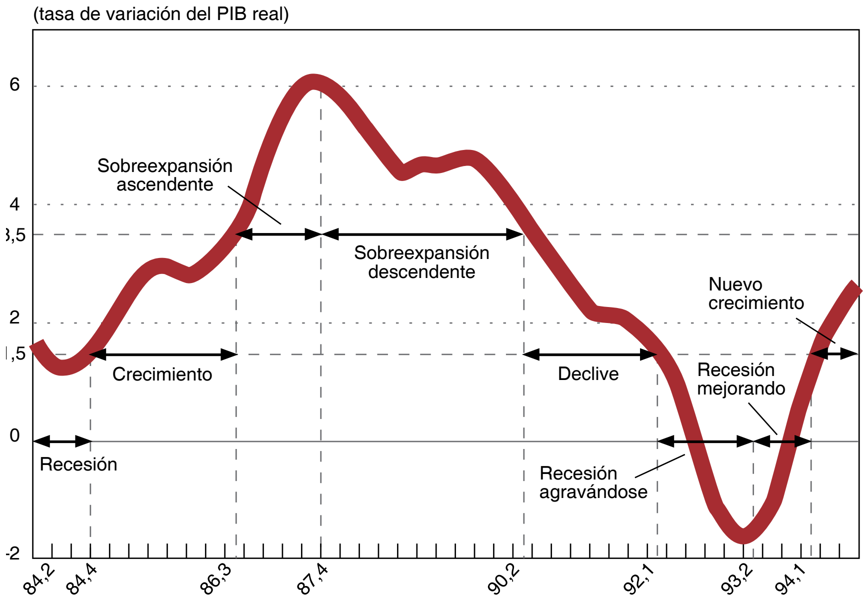
	SITUACION ACTUAL	SITUACION AL INGRESO EN LA CE	SITUACION AL INICIO DE LA TRANSICION
Población total	39,1	38,8	36,0
Población activa	15,3	14,1	13,3
Ocupados	11,9	11,1	12,7
Parados	3,4	3,0	0,6
Tasa de actividad (P. total/P. activa)	39,1 %	36,3 %	36,9 %
Tasa de paro (Parados/P. activa)	22,2 %	21,0 %	4,6 %

Fuente = Elaboración propia a partir de datos de la Encuesta de Población Activa del INE y de las proyecciones de población entre censos. Los años de referencia son 1976, 1986 y 1993. La tasa de actividad aquí utilizada es sobre población total y no sobre mayores de 16 años, como es habitual en las publicaciones del INE.

NECESIDADES TOTALES POR AÑO DE NUEVOS PUESTOS DE TRABAJO EN LA ESPAÑA DE FINALES DE LOS 90

(1)	Por crecimiento demográfico	45.000
(2)	Por mejoras de productividad	240.000
	Mínimo sin convergencia europea	**285.000**
(3)	Por acercamiento progresivo a la tasa de actividad media europea	195.000
(4)	Por acercamiento progresivo a la tasa de paro media europea	150.000
	Incluido convergencia con Europa en 10 años	**630.000**

(1) Calculado como tasa de actividad (40 %) sobre crecimiento vegetativo de la población (115.000).
(2) Un 2 % sobre la población ocupada de unos 12 millones de personas.
(3) La diferencia actual de unos 5 puntos de porcentaje (39 % en España, 45 % en la UE), se reparte entre 10 años, es decir 0,5 % anual sobre 39 millones de población total.
(4) La diferencia actual de 10 puntos de porcentaje (22 % en España, 12 % en la UE), se reparte entre 10 años, es decir 1 % anual sobre unos 15 millones de población activa.



5. DESDE EL CUARTO TRIMESTRE DE 1987 hasta mediados de 1992 la economía española fue desacelerándose hasta llegar a crecimientos negativos.

un desfase respecto al potencial que puede posteriormente emplearse para crecer incluso algo por encima de esa producción. Pero según va agotándose ese intervalo ("gap"), nuevos crecimientos por encima del ritmo sostenible a largo plazo conducen a tensiones inflacionistas.

Algunos economistas nos tememos que tienda a confundirse lo habitual con lo razonable y que, por considerar inflacionista el crecer por encima del 2,5-3 %, respetemos un límite demasiado estricto para poder corregir otros desequilibrios de la economía española (como el del paro). Porque el potencial de crecimiento no es fijo, sino que varía con el esfuerzo inversor, la innovación de procesos y productos o la productividad en su más amplio sentido.

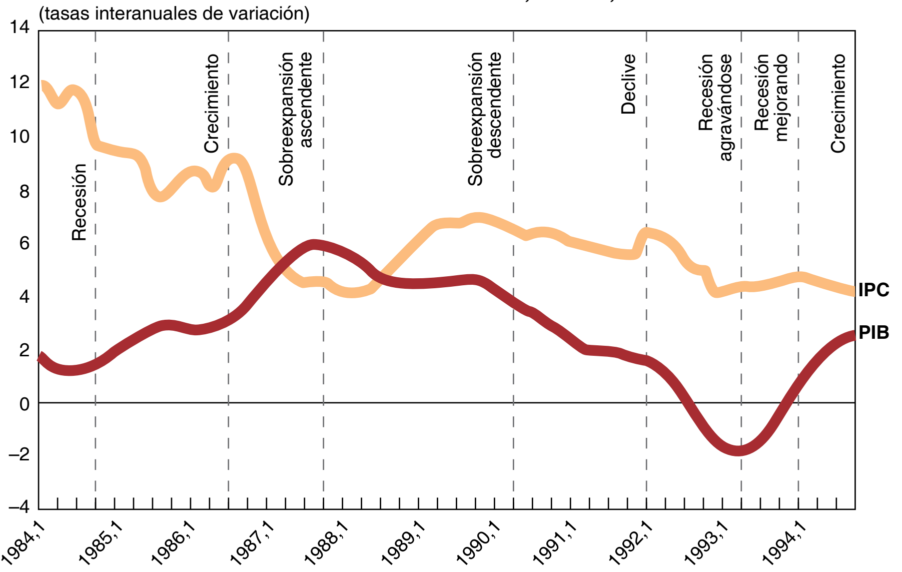
El problema se complica aún más por los desfases entre medidas correctoras y sus efectos, así como por las contraindicaciones entre políticas alternativas con respecto a distintos objetivos. Si priman los objetivos de inflación (como ocurre con los bancos centrales), éstos pueden adelantar medidas de política monetaria preventivas de una inflación futura. Según afirmaba *The Economist*, en su edición del 17 de septiembre de 1994: "Cambios en la política monetaria tienen su plena influencia sobre la inflación sólo después de un plazo. Alan Greespan, el presidente de la Reserva Federal, ha dicho que este desfase es de 18 meses en EE.UU. El Banco de Inglaterra admite que es de dos años en Gran Bretaña. Esto significa que la política de tipos de interés debe basarse en las perspectivas de inflación para dentro de dos años."

La consecuencia puede ser la aplicación de una medicina preventiva para la inflación que conduzca a elevaciones anticipadas de tipos de interés. La idea es siempre conseguir un aterrizaje suave de la economía, que evite con medidas restrictivas, como el encarecimiento del dinero, un crecimiento excesivo. Menos demanda para créditos, menos incentivos para el consumo y la inversión, terminarán reduciendo el ritmo de crecimiento. Pero hay que acertar con la cantidad correcta de medicamento en el momento adecuado.

En este punto de la reflexión sobre desequilibrios económicos básicos es necesario introducir el papel de las *expectativas* en economía y la creciente influencia de los mercados financieros internacionales.

En términos de riesgo de elevación de tipos de interés, éste aumenta con todo crecimiento económico excesivo de la economía real. Los mercados financieros descuentan a futuro la cadena lógica: mayor crecimiento implica mayor inflación que implica mayores tipos de interés. Para un comprador internacional de bonos del Estado, las expectativas de aumento de tipos de interés suponen una notable caída de su precio en el mercado (será menos rentable la cantidad fija que ofrecen los bonos a su vencimiento) y eso aconseja vender ahora y comprar más adelante. Muy posiblemente, por tanto, las expectativas inflacionistas conducen a una salida del país de capitales especulativos internacionales y pueden inducir una devaluación del tipo de cambio, si los flujos son relativamente importantes.

Endeudarse con otros países no es malo en sí mismo, como tampoco lo es el que el Estado gaste algún año más de lo que ingrese. Sin embargo, puede ser un síntoma de debilidad de la economía y, a partir de ciertos niveles, una restricción al crecimiento futuro.



6. EL GRAN RETO ES CONSEGUIR altas tasas de crecimiento con una inflación controlada o incluso a la baja.

RESUMEN DE LA BALANZA DE PAGOS (España, 1993, billones de pesetas)			
CUENTA CORRIENTE			
	Ingresos	Pagos	Saldo
Mercancías	7,7	9,6	–1,9
Servicios	3,9	2,5	+1,4
Rentas	1,5	2,1	–0,6
Transferencias	1,6	1,0	+0,6
	14,7	15,2	–0,5
CUENTA DE CAPITAL			
	Variación pasivos	Variación activos	Saldo
Inversión extranjera	8,1	1,2	+6,9
Bonos y obligaciones AA.PP.	6,3	0,9	+6,2
Otros valores negociables*	0,8		
Otros valores no negociables**	1,0	0,3	+0,7
Préstamos y depósitos	2,3	9,1	–6,8
A largo plazo (>1 año)	0,9	0,2	+0,7
A corto plazo (<1 año)	1,4	8,9	–7,5
Reservas	–	–0,6	+0,6
	10,4	9,7	+0,7
Errores y omisiones			–0,2
			+0,5

Nota: En la cuenta de capital la variación positiva de pasivos de la nación (p. ej. inversión de empresas extranjeras en España) supone entrada de recursos financieros para compensar los saldos por cuenta corriente. Aquí, saldos positivos indican capacidad de financiación mediante un mayor endeudamiento.

* Incluye acciones cotizadas, bonos y obligaciones (excepto las de las Administraciones Públicas), instrumentos del mercado monetario y derivados (futuros y opciones, p. ej.). Junto con los bonos y obligaciones de las AA.PP. constituyen lo principal de la inversión extranjera en cartera.

** Incluye acciones no cotizadas y otras formas de participación. Coincide aproximadamente con la denominada inversión extranjera “directa”.

Fuente: Banco de España. *Balanza de Pagos de España.*

El déficit de la balanza por cuenta corriente (comercio internacional de bienes y servicios, rentas y transferencias) debe financiarse con movimientos de capitales hacia el país deficitario, que compensen las diferencias entre ingresos y pagos, excepto que se compense con una reducción en el “stock” de divisas del país. Para conseguir este flujo de capital, deberemos vender algunos activos del país (por ejemplo, empresas o títulos de renta fija o variable) o pedir a préstamo. Y esto tiene sus aspectos positivos y negativos. Positivos, porque complementa el ahorro nacional con el ahorro de residentes en otros países, que nos ayudan así a crecer comparativamente más deprisa. Negativos, porque puede reflejar nuestra incapacidad para vender los bienes y servicios producidos en el país; porque puede señalar nuestra falta de competitividad internacional; porque puede suponer una vulnerabilidad del país en el futuro, cuando los inversores decidan retirarnos la confianza depositada.

Pero, además, en muy diversas ocasiones el déficit exterior es hermano gemelo del déficit público. Porque el capital exterior se concreta en la compra de deuda pública para financiar los déficits acumulados del Estado y otras Administraciones Públicas. Y año a año hay que seguir refinanciando deuda pública a su vencimiento (acumulada por déficits anteriores) y, además, colocar la nueva deuda (para financiar el déficit del último año).

El resultado es que, poco a poco, vamos utilizando recursos de futuro para pagos presentes. Es decir, un país con déficits permanentes vive por encima de sus posibilidades e hipoteca su futuro, excepto en el caso de que los recursos adelantados al momento presente potencien un mayor crecimiento en el futuro. Naturalmente, no es lo mismo que el sector público se endeude para pagar más a sus funcionarios o para promover una eficiente red de telecomunicaciones que mejore la productividad general del país.

En todo caso, el peligro de un desequilibrio excesivo se mantiene. Así no son de extrañar las alertas permanentes cuando se acumulan años de déficits consecutivos. Como ha escrito José Luis Malo de Molina en un artículo reciente: “Es imprescindible no reincidir en los errores cometidos durante la última fase de expansión, cuando el clima de euforia que la acompañó desvió la atención de la necesidad de mantener el nivel de disciplina necesario en las finanzas públicas y, al restar importancia aparente a los problemas de fondo de la economía, llevó a postergar las reformas requeridas para profundizar la liberalización, aumentar los niveles de competencia y establecer las bases de una competitividad sólida en un mercado tan amplio y agresivo como el europeo.”

La economía es una ciencia que se enfrenta a un mundo dinámico, complejo y cambiante. A nadie debiera extrañarle que no pueda dar soluciones exactas, ni alcanzar equilibrios estables como en los problemas físicos. En economía cuentan las expectativas, los fallos de información, las deficiencias organizativas e, incluso, los problemas políticos y sociales de dentro y fuera de cada país.

Precisamente por todos estos condicionantes de la economía, hay que evitar dar a los desequilibrios una interpretación rígida e inmutable. Si no, puede caerse en la candidez del que sólo ve lo evidente que, en nuestro campo, no es casi nada.

> “Pensador especializado en lo absoluto, Perogrullo, un día en que su genio le movía a pensamientos profundos y sutiles, nos libró los secretos universales y definitivos de la salud económica de todos los pueblos de la Tierra. *El equilibrio*, gritó al final de una larga meditación, *está asegurado mientras no se rompe, y solamente se vuelve a encontrar, una vez roto, si se restablece...* Y después, sin tomar aliento: *Cuando no se hacen por sí solas, las cosas solamente se hacen si se las hace...”*

(Jacques Dartan, *La economía, historia de locos*).

Las compañeras de las estrellas jóvenes

El sorprendente descubrimiento de que las estrellas más jóvenes prefieren aparecer en grupos de dos o tres ha obligado a revisar las ideas aceptadas sobre el nacimiento de los sistemas estelares

Alan P. Boss

El 6 de abril de 1992 marcó una pequeña revolución en astronomía. No aconteció en ningún observatorio de postín, en la cima de una montaña, sino en un lugar insólito: el hotel Callaway Gardens, en la georgiana Pine Mountain. Se había congregado allí un grupo de astrónomos para celebrar un simposio internacional sobre estrellas dobles, tema de investigación que avanza lentamente y donde los descubrimientos se cuentan por décadas, lo que suelen tardar estos sistemas en completar sus órbitas. Fuera, las azaleas florecían bajo la lluvia primaveral; en la sala de reuniones, sin embargo, los investigadores presentaba unos resultados que desembocaban en una conclusión sorprendente: las estrellas más jóvenes también aparecen frecuentemente rodeadas de compañeras estelares.

Semejante conclusión era fruto de tenaces observaciones, realizadas por diferentes grupos que supieron combinar métodos inteligentes con novedosos instrumentos. Aquella mañana, los trabajos relatados por distintos componentes del congreso comenzaron a encajar casi por arte de magia.

La hipótesis de que los sistemas binarios abundan entre las estrellas jóvenes lo mismo que entre las estrellas maduras podría parecer bastante razonable. Para los astrónomos, sin embargo, supuso un golpe demoledor. Las ideas dominantes sobre la formación de estrellas dobles predecían que tales compañeras se producen o capturan en un momento muy posterior al de la formación de la estrella inicial; cabría esperar, pues, que las más jóvenes existiesen en el espacio aisladas en su singularidad. Estas teorías carecen ahora de respaldo. Pero queda al menos una idea sobre la formación de las estrellas dobles que ha resistido las observaciones más recientes. Y, con todo, podría esconder la explicación de por qué los sistemas binarios de estrellas abundan tanto en el universo.

ALAN P. BOSS preside un comité que asesora a la NASA en la búsqueda de planetas fuera de nuestro sistema solar.

El Sol, una estrella madura, no tiene compañeras estelares conocidas, pero la mayoría de las estrellas de su misma edad forman parte de grupos de dos o más. En 1984 Richard A. Muller avanzó la hipótesis según la cual el Sol no sería una estrella solitaria, sino que posee una compañera distante que describe a su alrededor una órbita cuyo período es de unos 30 millones de años. Fundó su argumentación en que las fuerzas gravitatorias de este vecino invisible alterarían el flujo de material que circula en los confines más remotos del sistema solar y enviarían una lluvia de cometas hacia los planetas interiores cada vez que la estrella se acercara. Muller sugirió que este efecto podría explicar las periódicas extinciones en masa: los cometas generados por la compañera del Sol chocarían contra la Tierra cada 30 millones de años aproximadamente y —al igual que ocurrió con la extinción de los dinosaurios— destruirían gran parte de la vida en la Tierra. Debido a que sus aproximaciones habrían generado tanta devastación, Muller bautizó a esa estrella supuesta con el nombre de "Némesis".

Pese a su interés, la mayoría de los astrónomos rechaza la tesis de Muller. Por un lado, las estrellas más cercanas conocidas (el sistema triple de Alpha Centauri, a una distancia de 4,2 años luz) están demasiado lejos para que la fuerza de la gravedad las una al Sol. No hay ningún indicio astronómico que demuestre que el Sol sea algo más que una estrella solitaria, cuyo compañero mayor (Júpiter) tiene sólo el milésimo de su masa. Sin embargo, la vida sobre un planeta en órbita alrededor de un Sol sin pareja nos proporciona una perspectiva distorsionada del cosmos; tendemos a pensar que las estrellas singulares constituyen la norma y las dobles, la excepción. Para las estrellas de tipo solar, tal imagen dista mucho de la realidad.

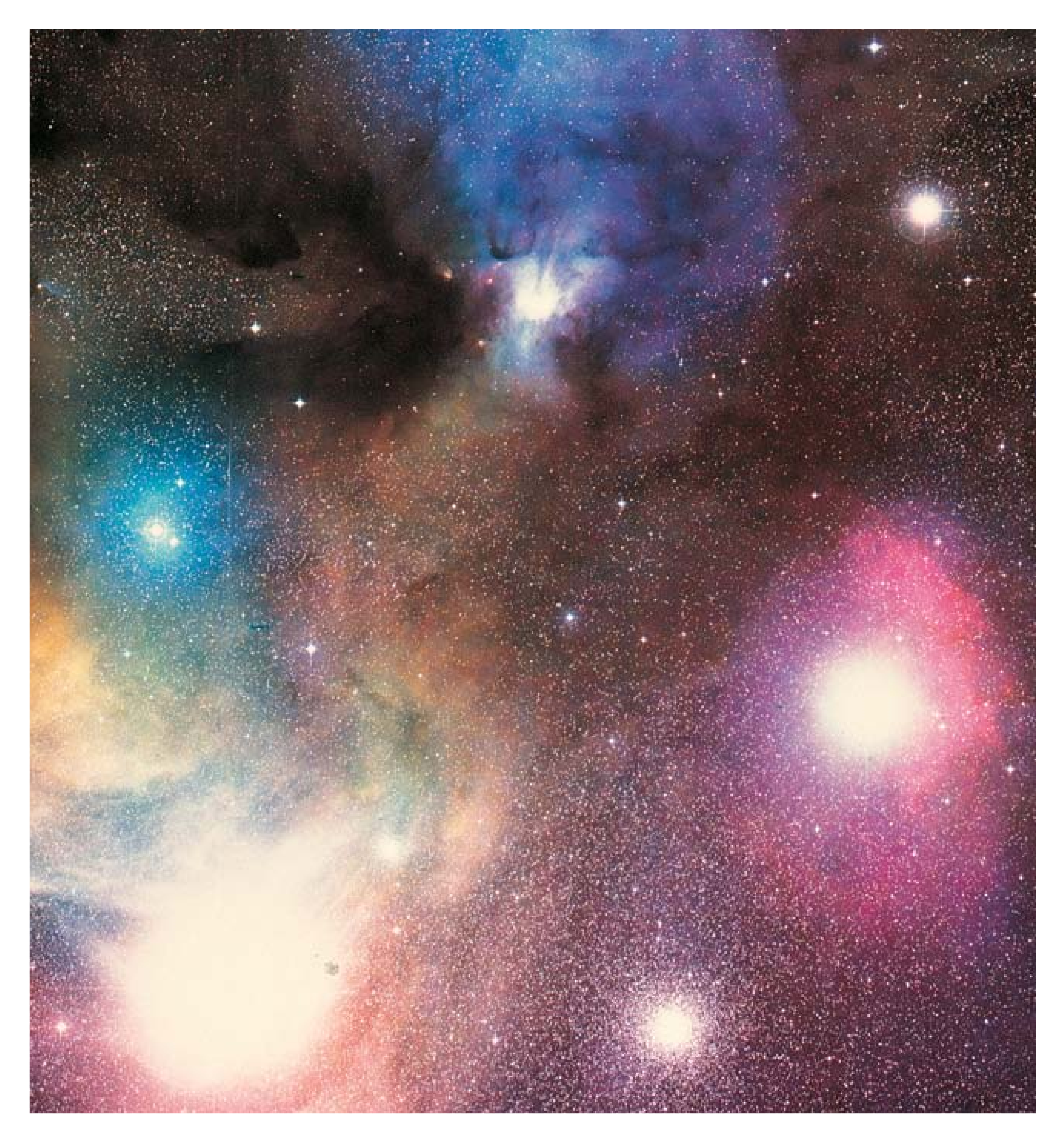
En 1990, Antoine Duquennoy y Michel Mayor remataron un estudio exhaustivo de las estrellas binarias cercanas en el que invirtieron más de diez años. Incluyeron en su rastreo todas las estrellas de la clase "G enanas", la del Sol, situadas a una distancia máxima de 72 años luz, una muestra de 164 estrellas primarias que se considera representativa del disco de nuestra galaxia. Duquennoy y Mayor encontraron que sólo un tercio de estos sistemas podían considerarse realmente estrellas solitarias; dos tercios tienen compañeras cuya masa es más de un centésimo de la solar, alrededor de 10 veces la masa de Júpiter.

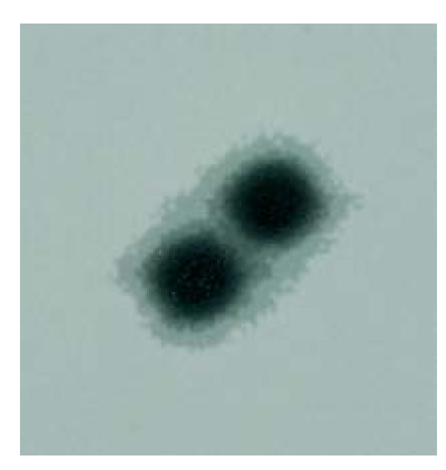
Las características de los sistemas de estrellas binarios varían de unos a otros. Las estrellas de ciertos sistemas dobles de la clase G enanas casi

1. RHO OPHIUCHUS, una nube molecular que alberga nebulosas de reflexión llenas de colorido y numerosas estrellas en proceso de formación. Debido a que estos semilleros estelares están relativamente cerca de la Tierra, su observación aporta pistas valiosas sobre el nacimiento de estrellas dobles.

alcanzan a tocarse, en tanto que otras podrían distar entre sí un tercio de año luz. Las que están en contacto pueden girar una alrededor de la otra en menos de un día, mientras que las estrellas dobles más separadas tardan del orden de decenas de millones de años en completar una sola órbita. Duquennoy y Mayor demostraron que las estrellas G enanas triples y cuádruples no abundan, ni de lejos, como las dobles. Contaron 62 grupos dobles, siete triples y dos cuádruples. Determinaron también que todos los grupos triples y cuádruples presentaban una estructura jerarquizada, compuesta por un sistema doble bastante estrecho y alrededor del cual gira una estrella distante (formando un sistema triple) u otra estrella doble estrecha (integrando un sistema cuádruple). Para que el grupo sobreviva largo tiempo, la separación entre pares distantes ha de quintuplicar por lo menos el intervalo de los sistemas dobles. Las agrupaciones con una separación menor que ésa se denominan sistemas de Trapecio, nombre que les viene de un joven sistema cuádruple de la nebulosa de Orión. Sus órbitas son inestables y acaban por disgregarse. Por ejemplo, si las tres estrellas de un sistema triple se acercan en demasía, favorecen que se desprenda la que tenga menos masa, para quedar una pareja estable.

Las estrellas dobles parecen, pues, ser la norma, no la excepción. Lo que no significa, en absoluto, que los planetas escaseen. Un planeta podría girar alrededor de un sistema de estrellas doble siempre y cuando su órbita discurra cerca de una de las dos estrellas o lejos de ambas. Imagínese la vida en un mundo que gire a una





2. SE VIO QUE GLASS-1 era una estrella doble joven cuando se la fotografió con una cámara infrarroja a una longitud de onda de 0,9 micrometros.

distancia prudente de una binaria muy junta, en la que las dos estrellas completen una órbita cada pocos días. En el cielo diurno se vería un par de soles apenas separados. Sería fascinante contemplar las auroras y los crepúsculos, el cruce, en el horizonte, de las dos esferas incandescentes, primero una y después la otra. Podría también haber otras extrañas configuraciones celestes. Si, por ejemplo, un planeta orbitase en el mismo plano que dos estrellas de idéntica masa, parecería periódicamente que los dos soles se fundían mientras uno eclipsaba al otro, reduciéndose a la mitad por un breve tiempo la cantidad de luz solar que recibiría el planeta.

El Sol se formó hace unos 4600 millones de años. Le quedan todavía unos 5000 millones de años de vida en la secuencia principal. Cuando alcance el final de ésta, se expandirá hasta convertirse en una gigante roja y devorará los planetas interiores. Esta configuración se parecerá bastante a una que hubo al principio de la historia del Sol, cuando se extendía más allá de su radio actual. Por entonces, antes de que se contrajera a su tamaño de hoy, el Sol era similar a las estrellas T Tauri que se observan en las regiones de nuestra galaxia donde ahora se están formando estrellas. Durante su etapa de estrella T Tauri, el radio del Sol cuadruplicaba su valor actual, cifrado en unos 700.000 kilómetros. Antes aún, el Protosol debió de extenderse hasta unos 1500 millones de kilómetros, 10 veces la distancia que media entre la Tierra y el Sol (este intervalo de 150 millones de kilómetros recibe el nombre de unidad astronómica, o UA). Las estrellas T Tauri ofrecen la oportunidad de saber cómo era el Sol en las primeras etapas de su evolución; de esas estrellas, las más cercanas son las que se encuentran en la nube molecular de Tauro y en la nube molecular de Rho Ophiuchus, ambas a una distancia de unos 460 años luz de la Tierra. El hecho de que las estrellas jóvenes siempre se encuentren inmersas en estas concentraciones polvorientas de gas es un convincente testimonio de su origen: las estrellas nacen de la contracción y el colapso de los núcleos densos de las nubes de hidrógeno molecular.

Al estar rodeadas de polvo, no es fácil observar las estrellas jóvenes con luz visible, sea cual sea la potencia del telescopio utilizado. Pero sus emplazamientos pueden detectarse sin dificultad en las longitudes de onda del infrarrojo, que son características de la emisión procedente de los granos de polvo calentados que cubren a una estrella cercana. Por tanto, el progreso en el conocimiento del proceso de formación estelar ha dependido en buena medida de la creación de instrumentos capaces de detectar la radiación infraroja. Durante el congreso aludido se presentaron los primeros resultados de varios rastreos infrarrojos, acometidos específicamente para detectar compañeras de las estrellas T Tauri de Tauro y Ophiuchus.

Andrea M. Ghez y sus colegas Gerry F. Neugebauer y Keith Matthews utilizaron una nueva cámara de antimonio e indio de red, instalada en el telescopio Hale de 5 metros, para fotografiar en una longitud de onda de 2,2 micrometros del infrarrojo cercano (la longitud de onda de la luz visible está entre 0,4 y 0,7 micrometros) las regiones que circundan a las estrellas T Tauri conocidas. Por medio de una técnica de formación moteada de imágenes ("speckle imaging technique"), de la que se sirvieron para minimizar los ruidos que producen las fluctuaciones de la atmósfera de la Tierra, Ghez y su equipo encontraron que casi la mitad de las 70 estrellas T Tauri de la muestra tenían una compañera estelar. En el limitado intervalo de separaciones considerado —entre 10 y 400 UA—, este estudio indicó que entre los sistemas más jóvenes la frecuencia de binarias duplica la que se da entre las estrellas de la secuencia principal. Christoph Leinert también presentó los resultados de un rastreo moteado en el infrarrojo cercano. Leinert y su grupo descubrieron que 43 de las 106 estrellas T Tauri que examinaron contaban con compañeras cercanas, lo que una vez más señalaba que las binarias eran mucho más frecuentes en estas estrellas que entre las G enanas.

Hans Zinnecker, Wolfgang Brandner y Bo Reipurth utilizaron una cámara digital de alta resolución en combinación con el Telescopio Europeo de Nuevas Técnicas para tomar imágenes de 160 estrellas T Tauri a una longitud de onda infrarroja (un micrometro). Descubrieron la existencia de 28 compañeras situadas entre 100 y 1500 UA de distancia de las estrellas T Tauri, aproximadamente un tercio más que las que orbitan alrededor de estrellas de tipo solar más viejas, en ese mismo intervalo de distancias.

Los grupos de Michel J. Simon y Wen Ping Chen informaron de un procedimiento novedoso para encontrar

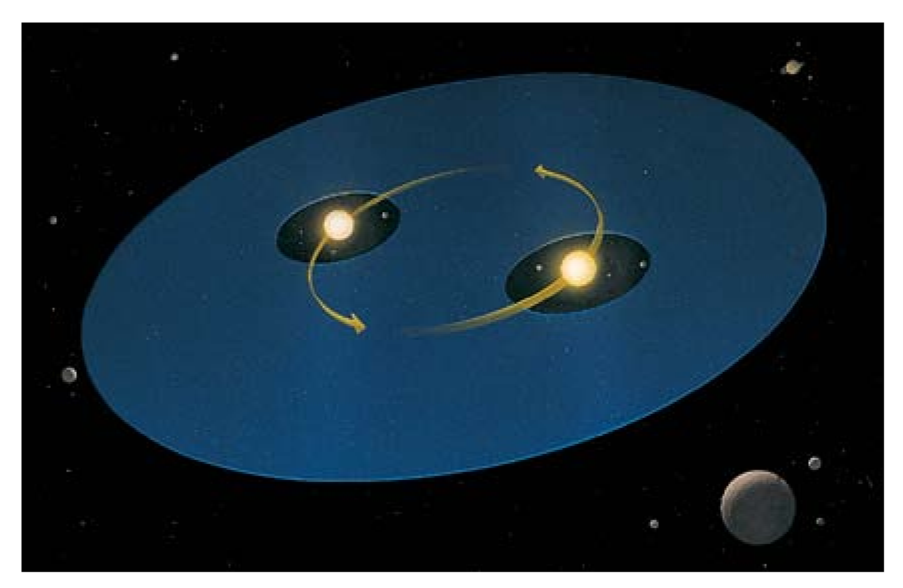
ESTRELLAS JOVENES
ESTRELLAS DE TIPO SOLAR MADURAS
PROPORCION DE BINARIAS EN EL TOTAL DE SISTEMAS ESTELARES
0,2
0,1
0
1
100
10.000
1.000.000
100.000.000
PERIODO (DIAS)

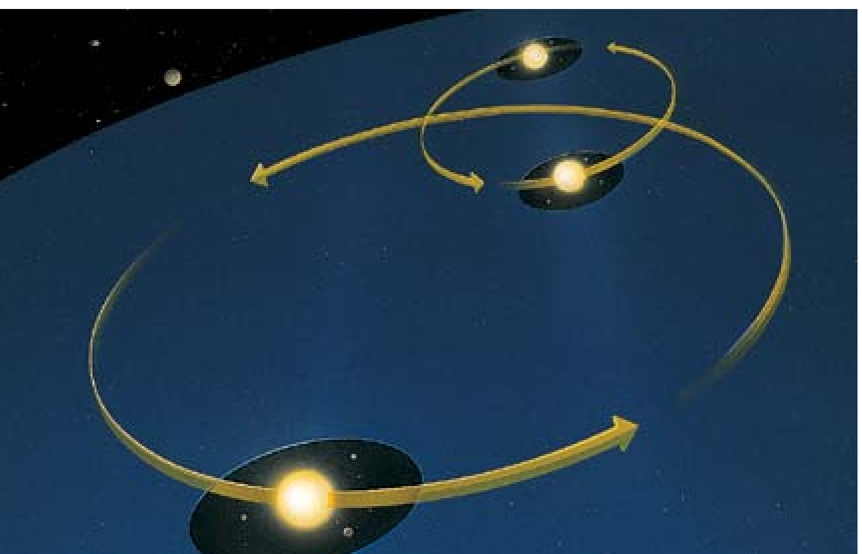
3. LAS BINARIAS JOVENES son omnipresentes. Para todos los períodos orbitales determinados hasta ahora, las estrellas dobles jóvenes detectadas en regiones de formación estelar (*azul*) son todavía más frecuentes que las binarias de tipo solar que se han observado en la vecindad del Sol (*rojo*).

estrellas dobles jóvenes. Cuando la luna pasa sobre un sistema estelar distante, o lo oculta, el seguimiento cuidadoso de la luz recibida puede revelar la presencia de dos o más fuentes al esconderse una y después la otra tras el nítido borde de la luna. Las mediciones de Simon y Chen pusieron de manifiesto la existencia de compañeras mucho más cercanas a las estrellas T Tauri de lo que había sido posible detectar con las imágenes en infrarrojo. Su trabajo demostró una vez más que una fracción importante eran binarias. Robert D. Mathieu se valió de un medio más tradicional para detectar estrellas dobles cercanas, el mismo que utilizaran Duquennoy y Mayor. Con mediciones espectroscópicas del desplazamiento Doppler periódico, Mathieu demostró que algunas estrellas T Tauri tienen compañeras a menos de 1 UA. Una vez más, las binarias que están muy juntas resultaron abundar más en los sistemas T Tauri jóvenes que en las estrellas de tipo solar.

¿Cómo aparecieron todas estas compañeras estelares? ¿Por qué se formaron con tanta profusión y en un momento tan precoz de su evolución? El número abultado de observaciones de estrellas jóvenes requiere que las estrellas binarias se originen mucho antes de la fase previa a la secuencia principal (T Tauri). Además, la omnipresencia de las binarias le exige al mecanismo que las genera una suma eficacia.

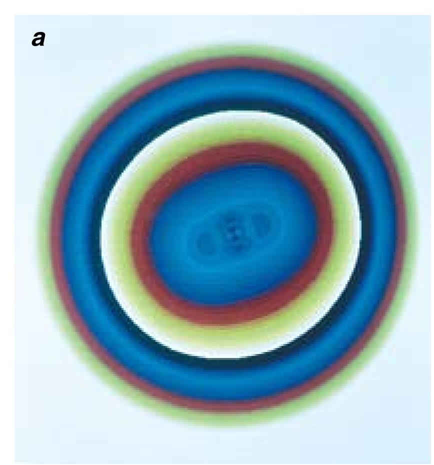
En principio, un sistema de estrellas doble podría nacer al cruzarse dos estrellas a una distancia lo bastante corta para que una obligue a la otra a entrar en un órbita estable. Ahora bien, la mecánica celeste de un suceso así necesita de la intervención de un tercer objeto que se lleve la energía sobrante del movimiento entre las dos estrellas y las deje atrapadas en un sistema ligado por la gravedad. Pero estos encuentros entre tres cuerpos son demasiado raros para que expliquen muchas estrellas binarias. Cathy J. Clarke y James E. Pringle estudiaron un mecanismo más probable de emparejamiento de las estrellas compañeras. Investigaron el acoplamiento gravitatorio que se produce entre dos estrellas jóvenes a las que aún rodeen discos aplanados de polvo y gas. Esta geometría sería mucho más común que los encuentros de tres cuerpos y, en teoría, podría retirar suficiente energía de los movimientos estelares. Pero en su análisis se encontraron con que tales interacciones suelen acabar arrancando los discos circumestelares, y no dando lugar a que una estrella gire con claridad alrededor de otra. Por tanto, parece que tener en cuenta ese detalle no sirve de mucho a la hora de explicar la existencia de los sistemas de estrellas binarios.

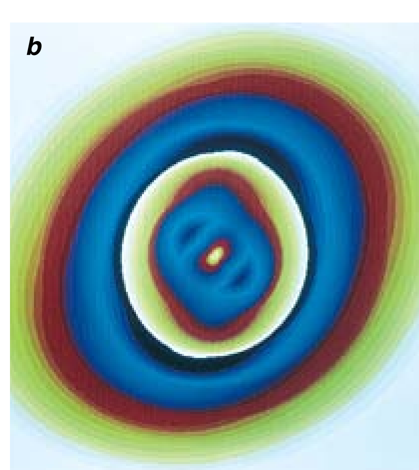


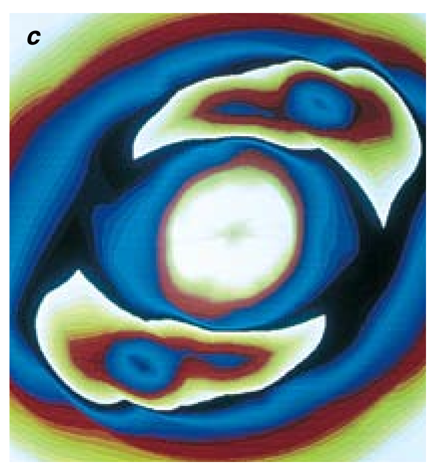


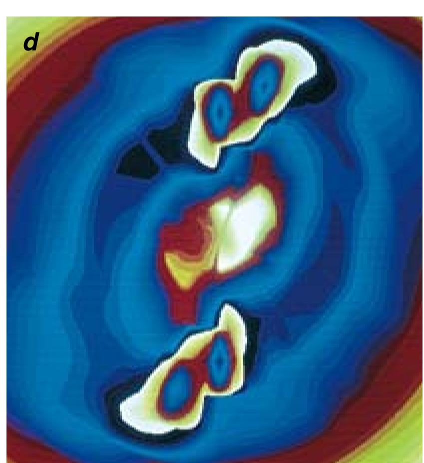
4. LOS PLANETAS de sistemas estelares dobles o triples quedarían excluidos de unas regiones especiales (*azul*) donde sus órbitas no fueran estables. En esas zonas, las interacciones gravitatorias arrojarían fuera al planeta. En un sistema doble (*arriba*) los planetas podrían residir cerca de cada una de las estrellas, o lejos de las dos. En un sistema triple (*abajo*), los planetas pueden describir sus órbitas cerca de cualquiera de las estrellas emparejadas, en una región más extensa que circunda al componente solitario lejos de las tres.

El fallo del mecanismo de captura ha forzado a que muchos astrónomos piensen en procesos más directos de formación de estrellas binarias. Esta posibilidad se empezó a barajar hace más de un siglo. En 1883 Lord Kelvin propuso que las estrellas dobles resultaban de la "fisión rotacional". Basándose en una serie de estudios sobre la estabilidad de los cuerpos en rotación rápida, Kelvin sugirió que, a medida que una estrella se fuera contrayendo, rotaría cada vez más deprisa hasta despedazarse, convirtiéndose en una estrella binaria. Ahora se sabe que las estrellas en la fase previa a la secuencia principal se contraen considerablemente mientras se van acercando a ésta, en la que se consume el hidrógeno; pero las estrellas T Tauri no rotan con la velocidad suficiente para devenir inestables. Es más, la fisión de Kelvin actuaría demasiado tarde para explicar la frecuencia de las binarias entre las estrellas jóvenes. Richard H. Durisen demostró que la fisión tampoco se sostiene teóricamente: un cálculo razonable de tal inestabilidad revela que el material expulsado acabaría formando brazos espirales de









5. SE PUEDEN FORMAR sistemas cuádruples jerárquicos a partir del colapso de una nube molecular. Las simulaciones por ordenador de este proceso demuestran que una nube inicialmente esférica (*a*) primero colapsa y forma un disco (*b*), que al fragmentarse da lugar a una binaria (*c*). Cada miembro de la binaria se divide en dos partes (*d*), y se crea la configuración definitiva, con cuatro regiones.

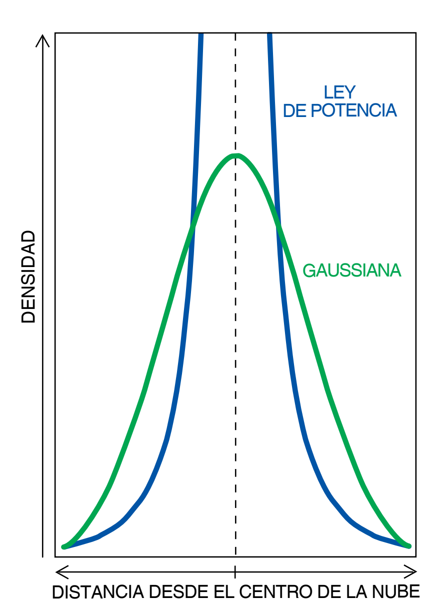
gas, no una estrella solitaria cohesionada.

La teoría de que las estrellas binarias se crearon por fisión es centenaria. La que dice que fue por fragmentación, en cambio, sólo cuenta diez años. Esta segunda supone que las estrellas binarias nacen durante una fase en que las nubes moleculares, de gran densidad, se contraen bajo la fuerza de su propia gravedad y se convierten en protoestrellas. El gas y el polvo que las celaban se disipan y emerge una estrella binaria (del tipo T Tauri). A diferencia de las teorías más antiguas sobre el nacimiento de los sistemas binarios, la fragmentación concuerda en todo con las observaciones más recientes de las estrellas jóvenes.

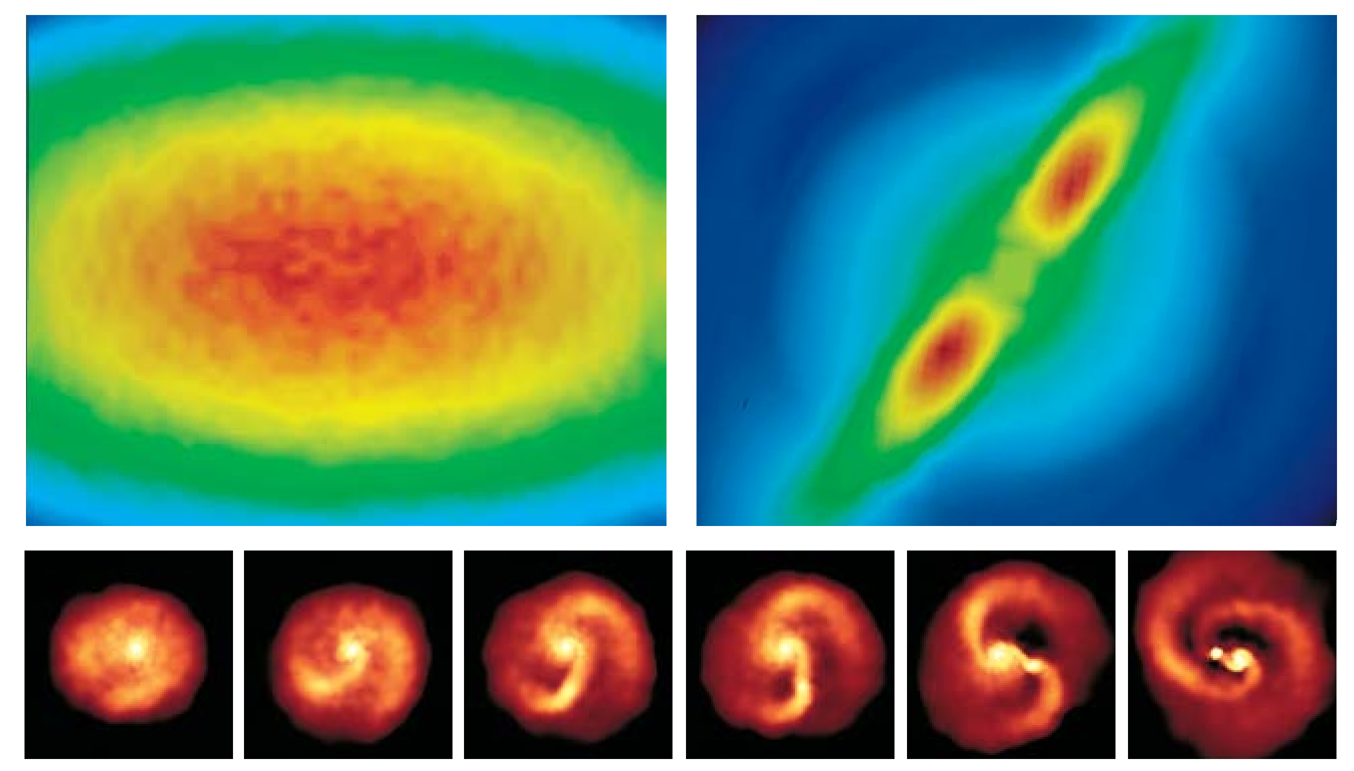
El colapso protoestelar que abre el camino a la fragmentación discurre de forma bastante repentina para la escala de miles de millones de años de la vida de una estrella; tarda unos cientos de miles de años. Esta transformación violenta de una nube difusa en estrella compacta ofrece a un objeto individual una oportunidad especial para desintegrarse en varios cuerpos bien diferenciados. Se han identificado dos mecanismos que podrían intervenir en ese fenómeno. Las nubes muy frías pueden fragmentarse directamente y convertirse en binarias, y las que son más calientes y con fuerte rotación adoptan primero la forma de unos discos muy delgados que más tarde se fragmentan cuando aumenta su masa o se aplanan progresivamente.

Contra la teoría de la fragmentación se adujo una objeción de peso, fundada en la distribución de materia en las nubes protoestelares. Creíase que dicha materia estaba distribuida según una ley de potencia. Es decir, habría una concentración altísima de materia cerca del centro de la nube y un descenso brusco de la densidad con la distancia. Pero esta objeción parece haberse desvanecido tras las recientes radioobservaciones en longitudes de onda submilimétricas. El año pasado Derek Ward-Thompson y su equipo determinaron cómo se distribuía la materia en el interior de varias nubes en su estado anterior al colapso. Encontraron que la densidad seguía una distribución gaussiana, acampanada, no una ley de potencia. La materia, pues, no estaba tan concentrada hacia un punto central cuando el sistema estelar empezaba a formarse. Elizabeth A. Myhill y el autor habían mostrado por separado que la alta densidad del centro de una nube regida por una ley de potencia haría que fuese casi imposible que se formara una segunda o una tercera estrella. Es mucho más probable que tenga lugar la fragmentación si inicialmente existe una distribución gaussiana.

Al resolver el conjunto de ecuaciones que gobiernan el flujo de gas, polvo y radiación en una nube protoestelar, podemos predecir si acabarán por formarse múltiples fragmentos. Los cálculos, muy complejos, requieren para su resolución el uso de una programación precisa y ordenadores potentes. Empecé a elaborar modelos del colapso de las nubes densas con perfiles de densidad gaussianos en 1986, y hallé que la fragmentación podría darse sin problemas siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones. Con tal de que la rotación de la nube gaussiana baste para proporcionar al sistema binario el momento angular que necesita y siempre que el material anterior al colapso sea tan frío (menos de 10 kelvin) que su energía térmica no exceda de la mitad, aproxi-



6. SE CREIA QUE LA DENSIDAD de las nubes en las que se generan las estrellas se regía por una ley de potencia que concentra mucho la masa, pero los nuevos descubrimientos sugieren que adopta la forma de una curva gaussiana, parecida a una campana, que permite la creación de binarias.



7. LOS SISTEMAS BINARIOS pueden formarse directamente cuando una nube molecular alargada (*superior izquierda*) colapsa y se fragmenta creando un sistema protoestelar en barra (*superior derecha*). Las regiones de alta densidad aparecen en rojo en la simulación por ordenador de la parte superior. Los modelos numéricos de la segunda fase del colapso de una nube protoestelar muestran la evolución de una binaria más estrecha (*abajo*).

madamente, de su energía gravitatoria, la nube se fragmentará durante su contracción gravitatoria. Estas condiciones no resultan nada extraordinarias para las nubes que encontramos en los semilleros estelares.

El que llegue a formarse un sistema binario, triple o cuádruple depende de numerosos detalles; entre ellos: tamaño tridimensional de la nube original, grado de rarefacción que posea y cantidad exacta de energía térmica y rotacional disponible. En general, las nubes oblongas, a la manera de balón de rugby, tienden a constituir barras que se fragmentan y originan sistemas binarios, y las que son más aplastadas, o con forma de torta, se aplanan hasta convertirse en discos que luego se fragmentan en varios miembros.

Se cree que el colapso atraviesa dos etapas separadas. Durante la primera fase se generan protoestrellas con un radio del orden de 10 UA. Así, la primera fase de la fragmentación sólo genera sistemas binarios con intervalos de unas 10 UA o más. Estos cuerpos sufren luego un segundo colapso y forman las protoestrellas definitivas, con dimensiones estelares. Ian A. Bonnell y Matthew R. Bate han demostrado que la fragmentación también puede acontecer durante la segunda etapa del colapso, y ese proceso da lugar a la formación de núcleos protoestelares separados entre sí por distancias equiparables a las de las estrellas de la secuencia principal más juntas. La fragmentación parece capaz de generar todo el intervalo de separaciones que se observan en las binarias jóvenes, desde los sistemas más estrechos a los más anchos.

¿Qué decir sobre la posibilidad de hallar compañeras cuya masa sea menor todavía? Duquennoy y Mayor presentaron pruebas de que un 10 por ciento de las estrellas de tipo solar están ligadas a enanas pardas; esto es, tienen compañeras estelares con masas entre 0,01 y 0,08 veces la masa solar. Las enanas pardas son demasiado pequeñas para quemar hidrógeno del modo en que lo hace el Sol, pero no para quemar deuterio poco después de haberse formado. Luego dejan de emitir radiación y se tornan frías y extremadamente difíciles de detectar. Aunque las pruebas proporcionadas por Duquennoy y Mayor son apasionantes, no hay ni un solo caso confirmado de enana parda, pese a los numerosos esfuerzos empeñados en su detección.

Se buscan también compañeros planetarios, pero tampoco se han encontrado todavía candidatos convincentes. No obstante, se espera que en los próximos diez años las técnicas experimentales mejoren hasta el punto de que puedan detectarse planetas del tamaño de Júpiter (o bien dejar demostrada su no existencia) en la vecindad de diversas estrellas cercanas. Si es razonable examinar las binarias o si debería restringirse la búsqueda a estrellas singulares como el Sol es cuestión abierta; los astrónomos seguramente apuntarán a unas cuantas de cada tipo en su esfuerzo tenaz por descubrir un sistema planetario con un reconfortante parecido al nuestro.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

A LUNAR OCCULTATION AND DIRECT IMAGING SURVEY OF MULTIPLICITY IN THE OPHIUCHUS AND TAURUS STAR-FORMING REGIONS. M. Simon, A. M. Ghez, C. Leinert, L. Cassar, W. P. Chen, R. R. Howell, R. F. Jameson, K. Matthews, G. Neugebauer y A. Richichi, en *Astrophysical Journal*, vol. 443, n.º 2, parte 1.ª, págs. 625-637; 20 de abril de 1995.

PRE-MAIN-SEQUENCE BINARY STARS. R. D. Mathieu en *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, volumen 32, págs. 465-530, 1995.

Computación mecánico-cuántica

Si algún día llegan a construirse, los ordenadores mecánico-cuánticos lograrán lo que ningún ordenador en uso puede hacer

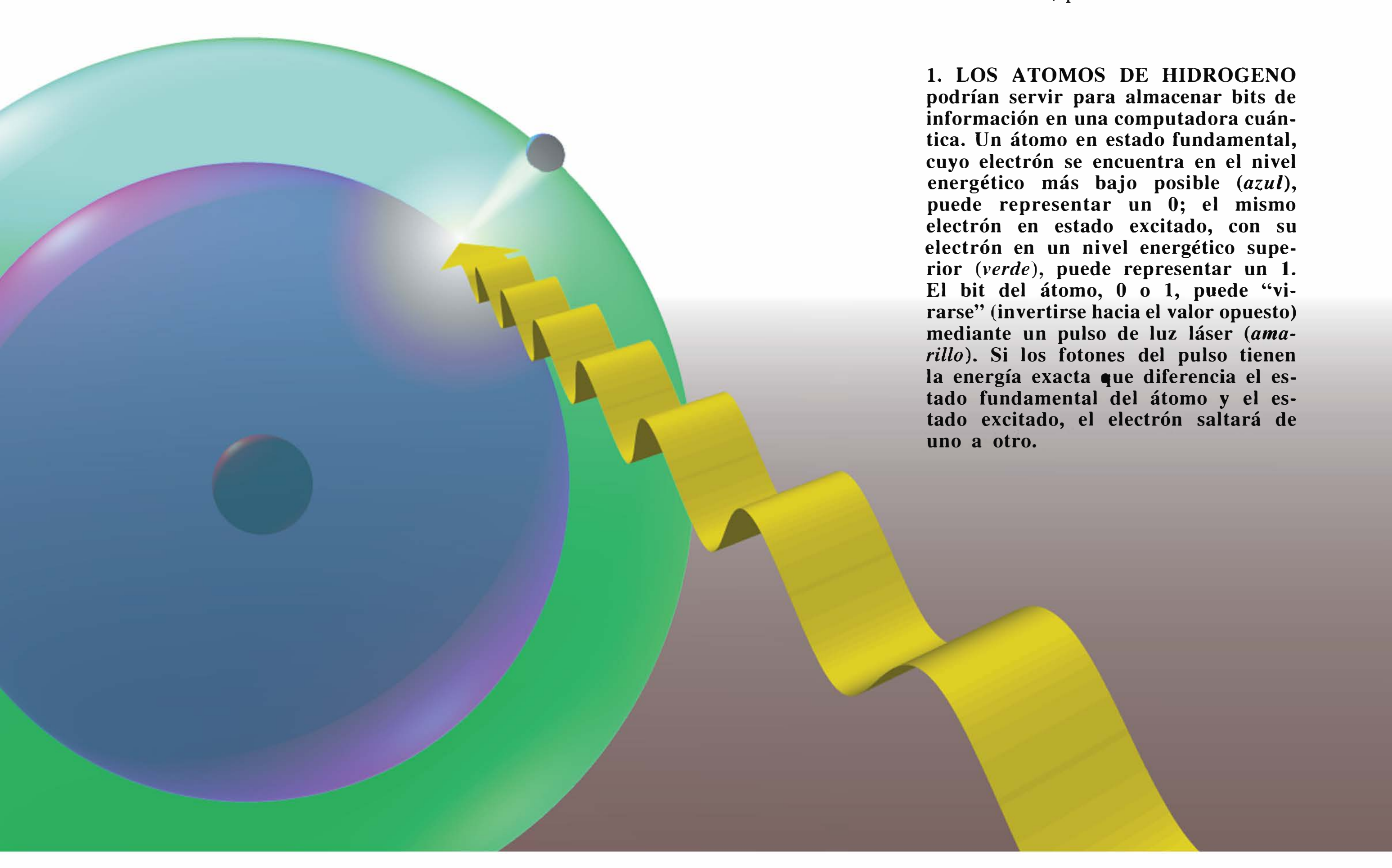
Seth Lloyd

A lo largo del último medio siglo, los ordenadores han ido duplicando su velocidad cada dos años, al tiempo que el tamaño de sus componentes se reducía a la mitad. Los circuitos actuales contienen transistores y líneas de conducción cuya anchura es sólo una centésima parte de la de un cabello humano. Las máquinas de nuestros días son millones de veces más potentes que sus rudimentarias antepasadas a causa de tan explosivo progreso. Pero las explosiones acaban disipándose, y las técnicas de integración de microcircuitos están empezando a tropezar con sus límites.

Mediante técnicas litográficas avanzadas podrían producirse elementos cien veces menores que los hoy disponibles. Pero a tal escala, en la que la materia se presenta como una muchedumbre de átomos disgregados, los circuitos integrados apenas consiguen funcionar. Al reducir la escala diez veces más, los átomos manifiestan ya su identidad individual, y basta un solo defecto para provocar una catástrofe. Por consiguiente, si se pretende que los ordenadores del futuro mengüen de tamaño, preciso habrá de ser que la técnica en uso se reemplace o suplemente con otras nuevas.

Hace ya bastantes años, Rolf Landauer y Charles H. Bennett empezaron a investigar la física de los circuitos de procesamiento de información y plantearse hacia dónde podría conducirnos la miniaturización: ¿cuál sería el tamaño mínimo de los componentes circuitales? ¿Cuánta energía es preciso utilizar en el curso de una computación? Por ser dispositivos mecánicos, el funcionamiento básico de los ordenadores está descrito por la física. Por la naturaleza de las cosas, al hacerse muy pequeños los componentes de los circuitos de cómputo, su descripción debe dejarse en manos de la mecánica cuántica.

A comienzos de los años ochenta, Paul Benioff, partiendo de resultados



1. LOS ATOMOS DE HIDROGENO podrían servir para almacenar bits de información en una computadora cuántica. Un átomo en estado fundamental, cuyo electrón se encuentra en el nivel energético más bajo posible (*azul*), puede representar un 0; el mismo electrón en estado excitado, con su electrón en un nivel energético superior (*verde*), puede representar un 1. El bit del átomo, 0 o 1, puede "virarse" (invertirse hacia el valor opuesto) mediante un pulso de luz láser (*amarillo*). Si los fotones del pulso tienen la energía exacta que diferencia el estado fundamental del átomo y el estado excitado, el electrón saltará de uno a otro.

obtenidos por Landauer y Bennett, demostró que, al menos en principio, un ordenador podría funcionar de modo puramente mecánico-cuántico. Poco después, David Deutsch y otros comenzaron a modelizar computadoras mecánico-cuánticas para averiguar en qué divergerían de las clásicas. Se preguntaron, en particular, si cabría sacar provecho de los efectos mecánico-cuánticos para acelerar las comunicaciones o para efectuar cómputos mediante nuevos procedimientos.

La especialidad languideció a mediados del decenio, por una serie de razones. Ante todo, en lugar de estudiar sistemas físicos tangibles, se había considerado las computadoras cuánticas en sentido abstracto, pecados en los que Landauer incurrió no pocas veces. Resultó igualmente evidente que un ordenador mecánico-cuántico sería propenso a errores y que la corrección de los mismos plantearía serios problemas. Y aparte de una sugerencia de Richard P. Feynman, en el sentido de que las computadoras cuánticas podrían servir para la simulación de otros sistemas cuánticos (por ejemplo, formas de materia nuevas o inobservadas), no estaba claro que lograran resolver problemas matemáticos con mayor velocidad que sus parientes, los ordenadores clásicos.

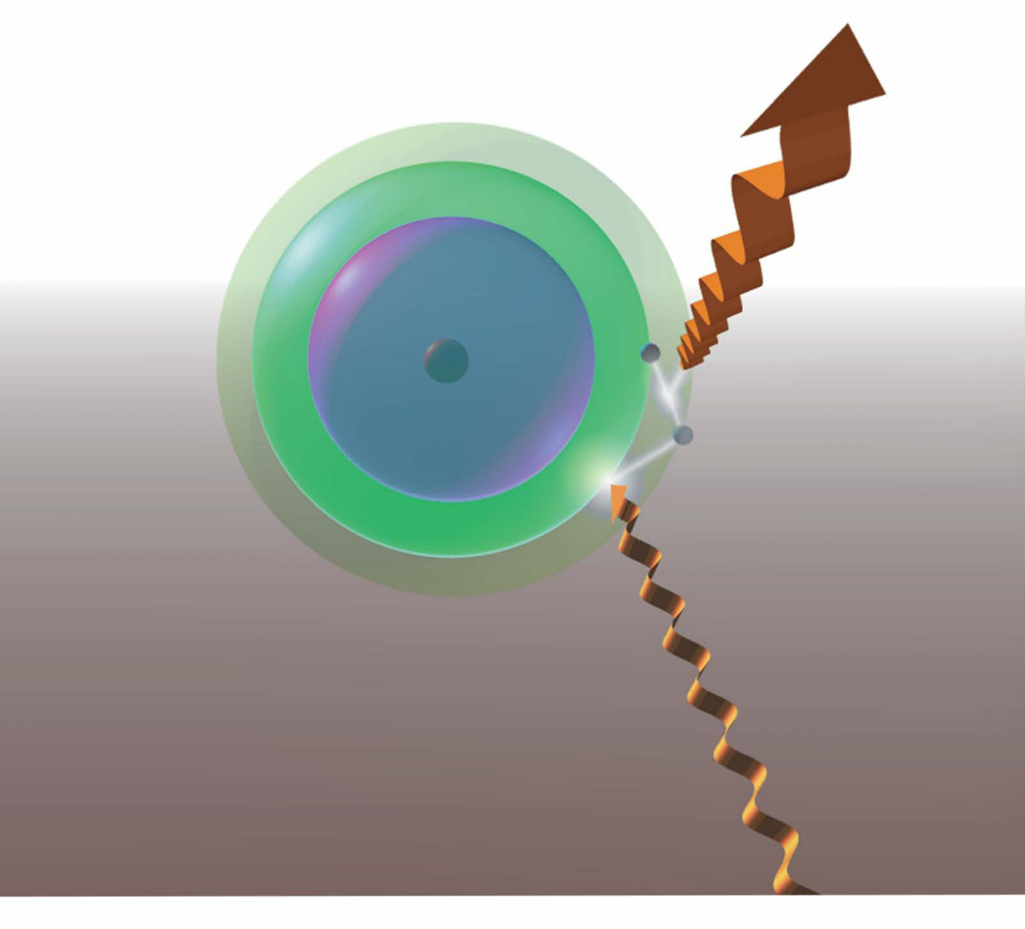
La imagen ha cambiado en los tres últimos años. En 1993 describí una amplia clase de sistemas físicos, bien conocidos, que podrían actuar a modo de computadoras cuánticas, y hacerlo ahorrándome algunas de las objeciones de Landauer. Peter W. Shor demostró que podría utilizarse un ordenador cuántico para descomponer números grandes en factores primos, tarea que desborda incluso a las máquinas más potentes. Y a lo largo del año pasado, en el Instituto para el Intercambio Científico de Turín se han engendrado numerosos diseños para la construcción de circuitería cuántica. Muy recientemente, el grupo de H. Jeff Kimble y el equipo de David J. Wineland han fabricado algunos de estos componentes prototípicos. Explicaré aquí de qué forma podrían ensamblarse ordenadores cuánticos y me ocuparé de algunas tareas que podrían llevar a cabo y son irrealizables por los ordenadores digitales.

Aceptemos de entrada que la mecánica cuántica produce desconcierto. Niels Bohr, que tanto contribuyó a su creación, confesaba : "Quien pueda contemplar la mecánica cuántica sin sensación de mareo es que no la ha comprendido adecuadamente." Por fortuna o por desdicha, la mecánica cuántica predice cierto número de efectos contrarios a la intuición, que se han corroborado una y otra vez. Para apreciar de qué extrañas cosas son capaces los ordenadores mecánico-cuánticos, basta con abordar el fenómeno de la dualidad onda-partícula.

SETH LLOYD desempeña funciones docentes en el departamento de ingeniería mecánica del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Se graduó en filosofía por la Universidad de Cambridge en 1984 y se doctoró en física por la Rockefeller en 1988.

La dualidad onda-partícula significa que, en ciertas circunstancias, cosas normalmente consideradas partículas sólidas se comportan como si fueran ondas, mientras que cosas que describimos mediante ondas (sonido o luz) se comportan en ocasiones como partículas. En esencia, la teoría mecánico-cuántica establece las clases de ondas asociadas a los distintos tipos de partículas, y recíprocamente.

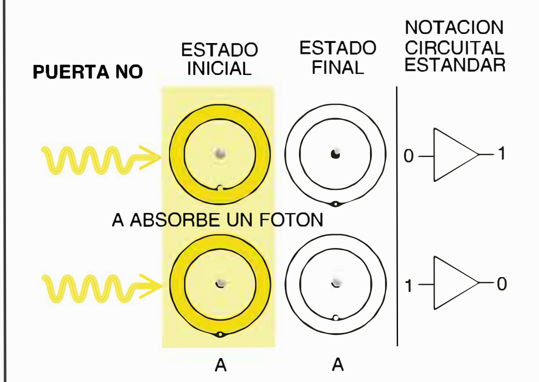
La primera y extraña consecuencia de la dualidad onda-partícula es que

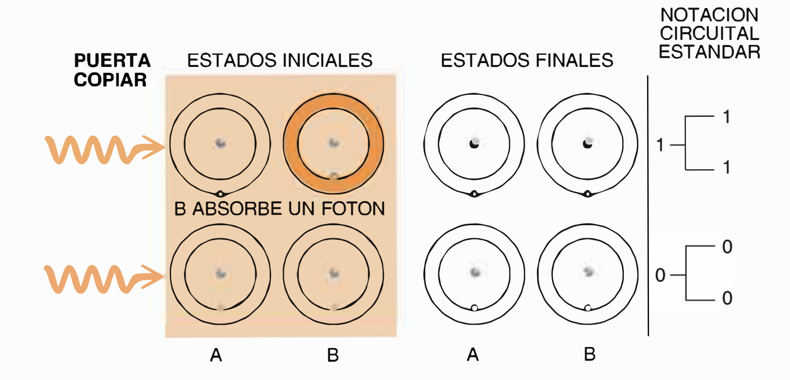


2. LA LECTURA del bit almacenado en un átomo se logra mediante un pulso de láser cuyos fotones tienen la energía que separa el estado excitado del átomo, llamémoslo E_1, y un estado excitado aún más elevado e inestable, E_2. Si el átomo se encuentra en su estado fundamental, que representa un 0, este pulso carece de efecto. Pero si se halla en el estado E_1, representativo de un 1, el pulso lo eleva hasta E_2. El átomo retornará entonces a E_1, emitiendo un fotón revelador de tal estado.

Puertas lógico-cuánticas

Las puertas lógicas realizan operaciones elementales sobre bits de información. George Boole demostró en el siglo XIX que toda tarea lógica o aritmética, por compleja que fuese, era realizable por combinación de tres operaciones: NO, COPIAR e Y. Los átomos, o cualquier otro sistema cuántico, pueden efectuar estas operaciones.





NO solamente entraña la inversión de bits, como indica la notación de la derecha: Si A es 0, se convierte en 1, y viceversa. En el caso de los átomos, la negación puede efectuarse aplicando un pulso cuya energía sea igual a la diferencia entre el estado fundamental de A (su electrón se halla en el estado de mínima energía, representado por el círculo interior) y su estado excitado (el círculo exterior). Las puertas NO cuánticas, a diferencia de las ordinarias, pueden también invertir los bits sólo a medias.

COPIAR, en el mundo cuántico, se basa en la interacción entre dos átomos. Imaginemos que uno de los átomos, el A, que almacena un 0 o un 1, se encuentra junto a otro átomo, B, que se halla en su estado fundamental. La diferencia de energía entre los estados de B tendrá determinado valor si A es 0 y un valor distinto si A es 1. Apliquemos ahora un pulso luminoso cuyos fotones posean energía igual a este último valor. Si el pulso tiene la intensidad y la duración adecuadas, y si A es 1, B absorberá un fotón y cambiará de estado (*línea superior*); si A es 0, B no puede absorber un fotón del pulso y permanece invariable (*línea inferior*). Así, como vemos en el diagrama de la derecha, si A es 1, B se convierte en 1; si A es 0, B sigue siendo 0.

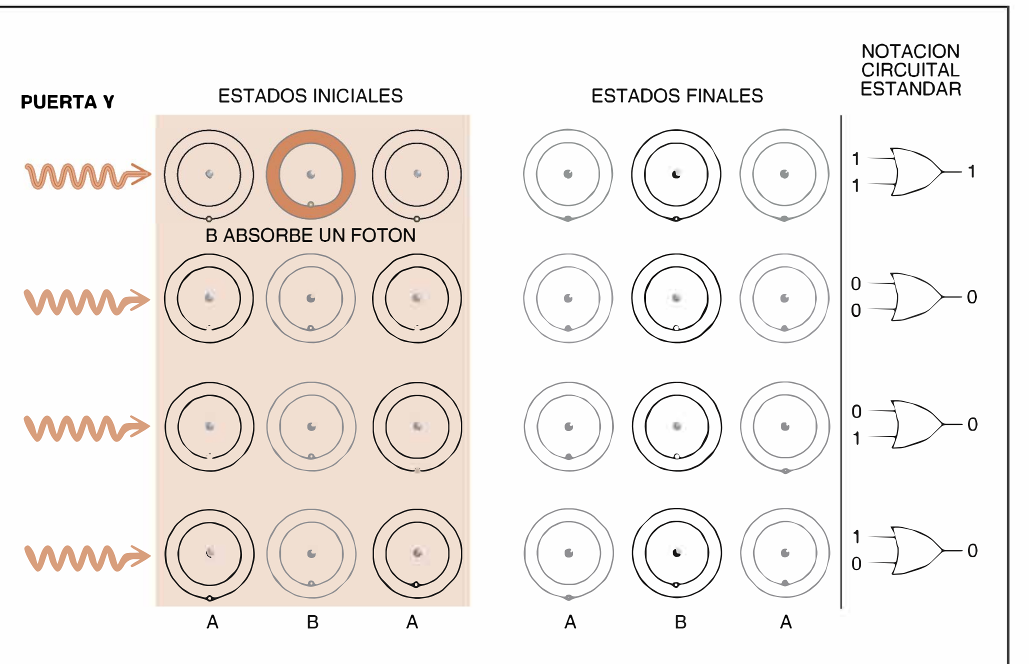
los sistemas físicos pequeños, como los átomos, sólo pueden existir en estados de energía discretos, bien caracterizados. Así, cuando un átomo salta de un estado energético a otro, absorbe o emite energía en cantidades exactas, llamadas fotones, que podrían considerarse partículas que componen las ondas de luz.

Una segunda consecuencia es que las ondas mecánico-cuánticas, como las ondas de agua, pueden superponerse, vale decir, sumarse. Tomadas individualmente, estas ondas ofrecen una descripción burda de la posición de una partícula dada. Empero, al combinar dos o más de tales ondas la posición de la partícula se vuelve incierta. Así pues, en cierto y misterioso sentido, un electrón puede en ocasiones encontrarse aquí y allí al mismo tiempo. La ubicación de un electrón tal permanecerá incógnita hasta que alguna interacción (como el rebote de un fotón al chocar con el electrón) revele que se encuentra aquí o allí, pero no en ambos lugares.

Cuando dos ondas cuánticas superpuestas se comportan como una sola onda se dice que son coherentes; el proceso por el cual dos ondas coherentes recuperan su respectiva identidad individual se denomina descoherencia. En el caso de un electrón que se encuentre en superposición de dos estados energéticos diferentes (o por decirlo sin precisión, en dos posiciones distintas en el seno de un átomo), la descoherencia puede requerir largo tiempo. Pueden transcurrir días antes de que un fotón, pongamos por caso, choque contra un electrón y revele, al hacerlo, cuál es su verdadera posición. En teoría, los balones de baloncesto podrían también encontrarse a la vez aquí y allí. En la práctica, sin embargo, el tiempo que tarda un fotón en rebotar de un balón es demasiado breve para que lo detecte el ojo o algún instrumento. El balón es, sencillamente, demasiado grande para que su posición exacta pueda permanecer indetectada durante un tiempo perceptible. En consecuencia, la regla general es que tan sólo los objetos muy pequeños y sutiles pueden exhibir la incertidumbre cuántica.

La información se presenta en piezas discretas, al igual que los niveles energéticos de los átomos en la mecánica cuántica. El cuanto de información es el bit. Un bit de información es una simple distinción entre dos opciones alternativas: sí o no, 0 o 1, verdadero o falso. En los ordenadores digitales, un bit de información está representado por la diferencia de potencial entre las placas de un condensador: un condensador cargado representa, por ejemplo, un 1, y un condensador descargado, un 0. Un ordenador cuántico funciona asociando el conocido carácter discreto del procesamiento de información digital con el extraño carácter discreto de la mecánica cuántica.

En efecto, una ristra de átomos de hidrógeno puede alojar bits igual de bien que una serie de condensadores. Un átomo en estado fundamental electrónico podría ser la codificación de un 0, y en estado excitado, de un 1. Mas para que tal sistema cuántico pueda funcionar como un ordenador no debe limitarse a almacenar bits. Quien lo maneje ha de poder cargar información en el sistema, ha de poder procesar tal información mediante manipulaciones lógicas sencillas y ha de poder descargar la información procesada. Es decir, los sistemas cuánticos han de



También la conjunción **Y** depende de interacciones atómicas. Imaginemos tres átomos, A, B y A, adyacentes entre sí. La diferencia de energía entre los estados fundamental y excitado de B es función de los estados de los dos A. Supongamos que B se halle en su estado fundamental. Apliquemos ahora un pulso cuya energía sea igual a la diferencia entre los dos estados de B solamente cuando los átomos A vecinos sean sendos unos. Si realmente ambos A son unos, este pulso invertirá el estado de B (*línea superior*); de no ser así, B quedará sin cambios (*todas las demás líneas*).

poder leer, escribir y efectuar operaciones aritméticas.

Isidor Isaac Rabi enseñó a escribir información en un sistema cuántico. Aplicado a átomos de hidrógeno, su método opera como sigue. Imaginemos un átomo de hidrógeno en su estado fundamental, en el que posee una cantidad de energía igual a E_0. Para escribir un bit 0 en este átomo no se hace nada. Para registrar un 1 en él, excitemos el átomo hasta un nivel energético superior, E_1. Podemos conseguirlo bañándolo en luz láser compuesta por fotones cuya energía sea igual a la diferencia entre E_1 y E_0. Si el haz de láser posee la intensidad adecuada y se aplica durante el tiempo necesario, el átomo pasará gradualmente desde el estado fundamental hasta el estado excitado, al absorber el electrón un fotón. Si el átomo se encuentra ya en el estado excitado, el mismo pulso lumínico provocará que emita un fotón y regrese al estado fundamental. Desde el punto de vista de almacenamiento de información, el pulso le dice al átomo que invierta el estado de su bit.

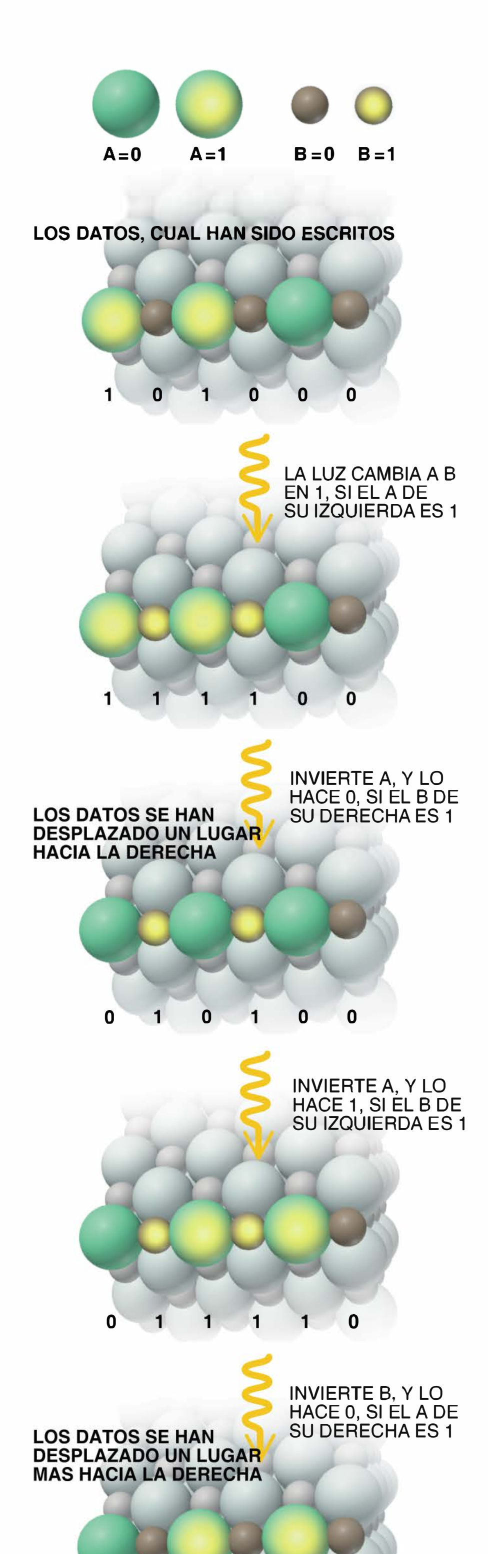
En este contexto, ¿qué significa "gradualmente"? Un campo eléctrico oscilante como el de la luz láser conduce un electrón de un átomo desde un estado de energía inferior hacia otro de energía más elevada, a la manera del adulto que, impulsando a un niño en un columpio, lo sube cada vez a mayor altura. Siempre que llega la oscilación de la onda, le da un empujoncito al electrón. Cuando los fotones del campo tienen la misma energía que la diferencia entre E_0 y E_1, estos pulsos coinciden con el "vaivén" del electrón y gradualmente convierten la onda correspondiente al electrón en una superposición de ondas que poseen diferentes energías. La amplitud de la onda asociada con el estado fundamental del electrón disminuirá conforme aumenta la de la onda asociada con el estado excitado. En el proceso, el bit registrado en el átomo "vira" desde el estado fundamental hacia el excitado. Cuando la frecuencia de los fotones no es adecuada, sus empujones no están sincronizados con el electrón y nada ocurre.

Si se aplica la luz adecuada, pero se hace durante la mitad del tiempo necesario para llevar al átomo desde el estado 0 al 1, el átomo se encuentra en un estado igual a la superposición de la onda correspondiente al 0 y de la onda correspondiente al 1, que tienen ambas iguales amplitudes. Tal bit cuántico, al que llamamos cubit, ha virado sólo a medias. Un bit clásico, por el contrario, dará siempre la lectura 0 o 1. En los ordenadores convencionales, un condensador cargado a medias provoca errores, mientras que un cubit semivirado abre el camino a nuevas formas de computación.

En la lectura de bits en un sistema cuántico se procede de forma parecida. Se empuja al átomo hasta un estado energético todavía más elevado y menos estable, al que llamaremos E_2. Ello se consigue sometiendo el átomo a luz que tenga una energía igual a la diferencia entre E_1 y E_2: si el átomo se encuentra en E_1, se excitará hasta E_2, pero retornará rápidamente a E_1, emitiendo un fotón. Si el átomo se encuentra ya en el estado fundamental, nada ocurre. Si se halla en el estado "semivirado" tiene iguales probabilidades de emitir un fotón, revelando que es un 1, como de no emitirlo, indicando que es un 0. Entre la lectura y escritura de información en un sistema cuántico y la computación sólo media un breve paso.

Los circuitos electrónicos están formados por elementos lineales (conductores, resistencias y condensadores) y por elementos no lineales (diodos y transistores) que manipulan los bits de diversas maneras. Los dispositivos lineales alteran individualmente las señales de entrada. Los dispositivos no lineales, por otra parte, hacen que interactúen entre sí las señales de entrada que pasan a su través. Por ejemplo, de no ser porque nuestro equipo estereofónico contiene transistores no lineales, no podríamos cambiar el nivel de graves de la música que reproduce. Hacerlo así requiere cierta coordinación de la información procedente del lector de discos compactos y de la información que llega del ajuste del mando correspondiente del equipo.

Los circuitos realizan cómputos por iteración, a gran velocidad, de un pequeño número de tareas, tanto lineales como no lineales. Entre ellas se cuenta la inversión de un bit, que equivale a la operación lógica llamada NO: verdadero se torna en falso y falso se trueca en verdadero. Otra de ellas es la operación de COPIAR, que hace que el valor del segundo bit sea igual que el del primero. Estas dos operaciones son ambas lineales, porque en ambas la salida refleja el



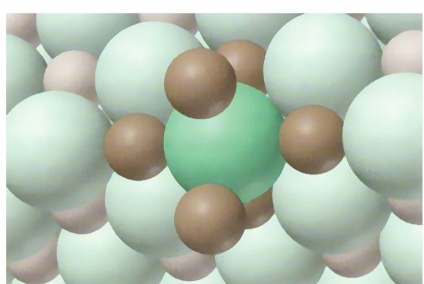
valor de una sola entrada. Efectuar la conjunción (la "Y") de dos bits —otra tarea útil— constituye, en cambio, una operación no lineal: si los dos bits de entrada son ambos 1, se hace que un tercer bit sea también igual a 1; en los demás casos, el tercer bit se hace igual a 0. El tercer bit depende ahora de cierta interacción entre las entradas.

Los dispositivos que ejecutan estas operaciones se denominan puertas lógicas. Si un ordenador digital posee puertas lineales, como la NO y la COPIAR, y puertas no lineales, tales como las puertas Y, entonces puede llevar a cabo cualquier tarea lógica o aritmética. Las computadoras cuánticas han de cumplir los mismos requisitos. Artur Ekert en colaboración con Deutsch y Adriano Barenco, por un lado, y quien esto firma, por otro, han demostrado que prácticamente cualquier interacción no lineal entre bits cuánticos será adecuada. A decir verdad, con tal de que un ordenador cuántico pueda invertir bits, cualquier interacción cuántica no lineal lo faculta para llevar a cabo cualquier cómputo. En consecuencia, para la construcción de ordenadores cuánticos podrían sacar provecho toda una variedad de fenómenos físicos de índole muy dispar.

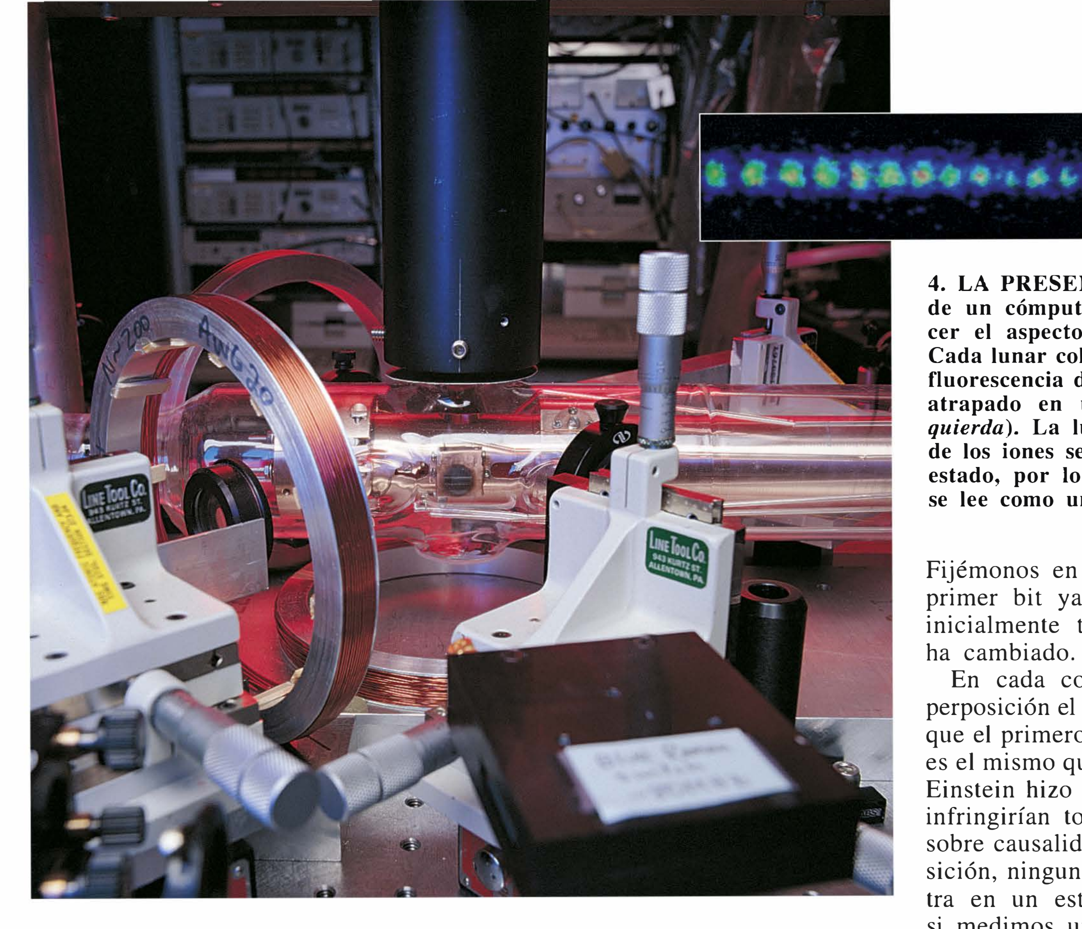
¡La verdad es que ha habido puertas lógico-cuánticas disponibles y de uso general desde hace casi tanto tiempo como el transistor! A finales de los años cincuenta, los investigadores lograron realizar sencillas operaciones de lógica cuántica con dos bits valiéndose del espín de las partículas. Estos espines —que consisten en la orientación del movimiento de rotación de una partícula con respecto a cierto campo magnético— se encuentran, al igual que los niveles energéticos, cuantizados. Así pues, un espín en una dirección puede representar un 1, y en la otra, un 0. Se aprovechó la interacción entre el espín del electrón y el espín del protón en un átomo de hidrógeno; se puso a punto un sistema en el cual sólo se invertía el espín del protón si el espín del electrón representaba un 1. Dado que los investigadores no pensaban en lógica cuántica, bautizaron al efecto con el nombre de "doble resonancia". Aun así, se valieron de la doble resonancia para efectuar las operaciones lineales de negación y copia.

Desde entonces, Barenco, David DiVincenzo, Tycho Sleator y Harald Weinfurter han mostrado cómo, virando sólo parcialmente los espines del protón y el electrón, se puede utilizar la doble resonancia para crear también una puerta lógica Y. Tales puertas logico-cuánticas, interconectadas, podrían constituir una computadora cuántica. Inútil decir que los "conductores" cuánticos son difíciles de construir. En un ordenador ordinario, los conductores pueden ser meras tirillas de metal, que transmiten sin dificultad las señales eléctricas de una puerta lógica a otra. La interconexión de puertas de doble resonancia, por el contrario, entraña una dificultad exasperante: el conductor ha de poder desensamblar átomos para trasladar protones y electrones a voluntad y luego ha de volver a ensamblarlos sin perturbar los espines de las partículas.

Recientemente se han ideado medios más sencillos para concatenar puertas lógico-cuánticas. Por ejemplo, fotones individuales conducidos por fibras ópticas o enviados a través del aire pueden transferir bits de información desde una puerta hasta otra. Un desarrollo especialmente prometedor ha llegado desde el Instituto de Tecnología de California: concentrando fotones en un volumen diminuto junto con un solo átomo, el grupo de Kimble ha conseguido intensificar la interacción no lineal entre fotones, que por lo común es muy pequeña. El resultado es una puerta logico-cuántica: un bit de un fotón puede "virarse" parcialmente cuando otro fotón lee un 1. Un ordenador construido a partir de puertas lógico-cuánticas de este tipo sería rápido y bastante inmune a las perturbaciones del medio que destruirían la coherencia, pero habría todavía que superar cierto número de obstáculos predichos por Landauer. Notoriamente,



3. UN CRISTAL SALINO podría realizar cómputos actuando sobre pares de iones vecinos. Se invierte el bit almacenado en cada B si el A de su izquierda contiene un 1; seguidamente, se invierte cada A si el B a su derecha es 1. Se traslada así la información desde cada A hasta el B situado a su derecha. Ahora, utilizando la misma táctica, se traslada la información desde cada B al A de su derecha. El proceso permite que una línea de átomos actúe de "conductor" cuántico. Dado que un cristal puede realizar estas operaciones de "doble resonancia" en todas las direcciones simultáneamente con cada ion vecino (*abajo, a la derecha*), el cristal puede remedar la dinámica de cualquier sistema, actuando así de computadora cuántica analógica de uso general.



4. LA PRESENTACION del resultado de un cómputo cuántico podría ofrecer el aspecto de la banda superior. Cada lunar coloreado corresponde a la fluorescencia de un solo ion mercúrico atrapado en una trampa iónica (*izquierda*). La luz indica que cada uno de los iones se encuentra en el mismo estado, por lo que la ristra completa se lee como una serie de unos.

las tolerancias en la longitud de todos los caminos ópticos del sistema tendrían que ser de una minúscula fracción de la longitud de onda utilizada.

El problema del "cableado" admite otras soluciones. J. Ignacio Cirac y Peter Zoller han propuesto un diseño que aislaría cubits en una trampa de iones, aislándolos de influencias externas indeseables. Antes de procesarlo, el bit se transferiría a un registro común, a un "bus". En concreto, la información que contuviera se representaría por un tembleque en el que participarían todos los iones de la trampa. El grupo de Wineland ha dado ya el primer paso hacia la construcción de un tal ordenador cuántico, realizando operaciones tanto lineales como no lineales sobre bits codificados mediante iones y por el tembleque. La construcción de computadoras capaces de operar con unas pocas decenas o centenas de bits mediante trampa iónica ofrece buenas perspectivas. Se han realizado ya operaciones binarias y el número de bits de la computadora puede aumentarse sin más que añadir iones a la trampa.

Así las cosas, los científicos pueden controlar operaciones de lógica cuántica con unos pocos bits, y es muy posible que en un futuro cercano efectúen cómputos cuánticos en los que intervengan algunas decenas o centenares de bits. ¿En qué sentido puede ello representar un avance sobre los ordenadores clásicos, que manejan sin dificultad miles de millones de bits? La verdad es que, incluso con un solo bit, una computadora cuántica puede realizar cosas que no están al alcance de ningún ordenador clásico. Fijémonos en lo siguiente. Tomemos un átomo en superposición de 0 y 1. Averigüemos ahora si el bit es un 0 o un 1 provocando su fluorescencia. La mitad de las veces, el átomo emite un fotón y el bit es un 1. En la otra mitad no hay emisión fotónica, y el bit es un 0. Es decir, el bit es un bit aleatorio, algo que ningún ordenador clásico puede crear. Los programas de números aleatorios de los ordenadores digitales generan en realidad números pseudoaleatorios, valiéndose para ello de una función cuyo resultado es tan irregular que parece producir bits por azar.

Imaginemos lo que un ordenador cuántico puede hacer con dos bits. El copiado se realiza juntando dos bits, uno con un valor a copiar y otro cuyo valor inicial es 0; al serle aplicado un pulso, el segundo bit se invierte a 1 solamente en el caso de que el primer bit también sea un 1. Pero si el valor del primer bit es una superposición de 0 y 1, la aplicación del pulso crea una superposición en la que participan ambos bits, de forma tal que ambos son 1 o ambos son 0. Fijémonos en que el valor final del primer bit ya no es el mismo que inicialmente tenía; la superposición ha cambiado.

En cada componente de esta superposición el segundo bit es el mismo que el primero, pero ninguno de ellos es el mismo que el bit original. Albert Einstein hizo notar que tales estados infringirían toda la intuición clásica sobre causalidad. En una tal superposición, ninguno de los bits se encuentra en un estado definido; empero, si medimos uno de ellos, situándolo en consecuencia en un estado definido, el otro bit pasa también a un estado definido. El cambio en el primer bit no es causa del cambio en el segundo. Pero en virtud de la destrucción de la coherencia entre ambos, la medición del primer bit también despoja al segundo de su ambigüedad. Con tres cubits se pueden establecer estados imbricados todavía más complejos.

En efecto, dados tan sólo dos o tres cubits y una o dos puertas lógico-cuánticas, resulta posible la creación de estados cuánticos fascinantes. He demostrado que, con mayor número de bits, podría utilizarse una computadora cuántica para simular el comportamiento de cualquier sistema cuántico. Programada adecuadamente, la dinámica de la computadora remedaría la dinámica de cierto sistema postulado, y en particular, de la interacción del sistema con su entorno. Además, el número de pasos que tal computadora tendría que dar para registrar la evolución de este sistema a lo largo del tiempo sería directamente proporcional al tamaño del sistema.

Todavía más notable es que si una computadora cuántica tuviera arquitectura en paralelo, que pudiera ser factible por doble resonancia entre pares vecinos de espines en los átomos de un cristal, podría remedar en tiempo real a cualquier sistema cuántico, cualquiera que fuera su tamaño.

Esta clase de computación cuántica en paralelo, de ser posible, supondría una enorme aceleración sobre los métodos al uso. Según advirtiera Feynman, para simular un sistema cuántico en un ordenador clásico se precisa, en general, un número de pasos que crece exponencialmente con el tamaño del sistema y con el lapso de tiempo invertido en rastrear la evolución del sistema. De hecho, una computadora cuántica de 40 bits podría recrear un sistema cuántico en poco más de un centenar de pasos; la misma simulación en un ordenador clásico provisto de un billón de bits exigiría años.

¿Qué puede llegar a hacer una computadora cuántica, dotada de muchas operaciones lógicas, sobre muchos cubits? Empecemos colocando todos los bits de entrada en idéntica superposición de ceros y unos, que tengan cada una la misma magnitud. La computadora se encuentra entonces en una superposición igual de todas las entradas posibles. Hagamos pasar esta entrada a través de un circuito lógico que ejecute un determinado cómputo. El resultado es una superposición de todos los posibles resultados de ese cómputo. En cierto y extravagante sentido cuántico, la computadora efectúa a la vez todos los cómputos posibles. Deutsch ha denominado a este efecto "paralelismo cuántico".

Aunque el paralelismo cuántico puede parecer extraño, pensemos por un momento en el comportamiento general de las ondas. Si las ondas mecánico-cuánticas fuesen ondas sonoras, las correspondientes a 0 y a 1 —que oscilan cada una a una sola frecuencia— constituirán tonos puros. Una onda correspondiente a una superposición de 0 y 1 sería entonces un acorde. Al igual que los acordes musicales suenan cualitativamente distintos de los tonos individuales que los integran, una superposición de 0 y 1 se diferencia del 0 y el 1 tomados por separado: en ambos casos, las ondas combinadas se interfieren entre sí.

Una computadora cuántica que realiza un cómputo ordinario, en el que no hay superposición de bits, genera una secuencia de ondas análogas al sonido de un "cambio de repique" de los campanarios, en que las campanas se tañen una por vez. La secuencia de sonidos se atiene a reglas matemáticas estrictas. Un cómputo realizado en modo cuántico paralelo viene a ser como una sinfonía: su "sonido" corresponde a una multitud de ondas que se interfieren entre sí.

Shor demostró que el efecto sinfónico del paralelismo cuántico podría servir para descomponer muy rápidamente números grandes en factores primos, cosa que los ordenadores clásicos e incluso los superordenadores no siempre logran conseguir. Puso de manifiesto cómo orquestar una computación cuántica de forma que los posibles factores destaquen en la superposición, al igual que, en una sinfonía, una melodía tocada por los cellos, las violas y los violines con separación de una octava destacaría sobre el sonido de fondo creado por los demás instrumentos. De hecho, su algoritmo haría que la factorización resultase tarea sencilla para una computadora cuántica, de poder construirse. Dado que la mayoría de los sistemas criptográficos de clave pública —como los de protección de las cuentas bancarias electrónicas— se basan en que los ordenadores clásicos no pueden hallar factores primos que tengan, sea por caso, más de 100 dígitos, los merodeadores informático-cuánticos podrían darle motivo de preocupación a mucha gente.

La cuestión de si llegará a haber computadoras cuánticas (y sus correspondientes merodeadores) es cuestión debatida con ardor. Recordemos que la naturaleza cuántica de una superposición subsiste tan sólo mientras el entorno se abstiene de revelar el estado del sistema. Habida cuenta de que las computadoras cuánticas podrían todavía consistir en miles o millones de átomos, y puesto que para lesionar la coherencia cuántica basta la perturbación de uno solo, no está claro cuánto tiempo pueden durar en auténtica superposición los sistemas cuánticos interactuantes. Las pruebas experimentales inducen a pensar que ciertos sistemas pueden mantener superposiciones cuánticas durante varias horas. Shor y sus colaboradores han demostrado que su algoritmo sigue funcionando incluso con niveles modestos de descoherencia.

Otro de los problemas a que se enfrenta la computación cuántica es la corrección de errores. Los distintos sistemas que podrían utilizarse para el registro y procesamiento de información son sensibles al ruido, que puede invertir bits de modo aleatorio. Los métodos clásicos de corrección de errores entrañan la medición de bits para ver si son erróneos, lo que en una computadora cuántica provocaría la descoherencia. Los grupos de Ekert y de Deutsch han mostrado que la corrección de errores es posible en teoría, pero muy costosa de llevar a la práctica. Así pues, aun cuando puedan construir computadoras cuánticas, tal vez éstas no sean capaces de realizar durante períodos largos cómputos con muchos bits.

Para sobrepasar la capacidad de factorización de los superordenadores actuales, las computadoras cuánticas que utilizasen el algoritmo de Shor podrían tener que seguir la pista de centenares de bits durante millares de pasos, manteniendo en todo momento la coherencia cuántica. Por culpa de los problemas técnicos de que hablaba ya Landauer, entre los que se cuentan la descoherencia, las variaciones incontrolables en los pulsos de láser y la carencia de una corrección de errores eficaz, es muy verosímil que la construcción de un ordenador capaz de efectuar semejante cómputo resulte difícil. Sin embargo, para superar las simulaciones clásicas de los sistemas cuánticos bastaría con seguir la pista a unas decenas de bits durante algunas decenas de pasos, objetivo mucho más alcanzable. Y la utilización de lógica cuántica para la creación y exploración de las propiedades de extraños estados cuánticos con multitud de partículas es meta que ya se encuentra en el horizonte.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

QUANTUM-MECHANICAL MODELS OF TURING MACHINES THAT DISSIPATE NO ENERGY. Paul Benioff en *Physical Review Letters*, vol. 48, número 23, páginas 1581-1585; 7 de junio de 1982.

QUANTUM THEORY: THE CHURCH-TURING PRINCIPLE AND THE UNIVERSAL QUANTUM COMPUTER. David Deutsch en *Proceedings of the Royal Society of London*, serie A, vol. 400, n.º 1818, páginas 97-117; 1985.

A POTENTIALLY REALIZABLE QUANTUM COMPUTER. Seth Lloyd en *Science*, vol. 261, páginas 1569-1571; 17 de septiembre de 1993.

ALGORITHMS FOR QUANTUM COMPUTATION: DISCRETE LOGARITHMS AND FACTORING. Peter W. Shor en *35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science: Proceedings*. Recopilación de Shafi Goldwasser. IEEE Computer Society Press, 1994.

QUANTUM COMPUTATIONS WITH COLD TRAPPED IONS. J. I. Cirac y P. Zoller en *Physical Review Letters*, volumen 74, n.º 20, páginas 4091-4094; 15 de mayo de 1995.

Perfiles

Kristin Leutwyler

KAY REDFIELD JAMISON: *Sobrevivir a la locura*

La voz musical de Kay Redfield Jamison se alza sobre el estrépito del restaurante de Manhattan donde estamos almorzando. Es la voz segura del profesor avezado. Pero Jamison, docente de psiquiatría en la facultad de Medicina de la Universidad Johns Hopkins, no habla de los síntomas de la enfermedad maniacodepresiva, su especialidad, sino de las reacciones que ha despertado su último libro. No es como los que le precedieron. En 1990 codirigió la redacción de *Manic-Depressive Illness*, el manual clínico de obligada referencia, y en 1993 escribió *Touched with Fire*, un ensayo sobre la influencia de ese trastorno en grandes artistas. Su nueva entrega, *An Unquiet Mind*, describe el trastorno maniacodepresivo desde una perspectiva sin par: la suya propia.

Le diagnosticaron la dolencia hace unos veinte años. "La gente me ha apoyado mucho", reconoce. Es, ella lo sabe bien, un desajuste que asusta a muchos, pues evoca la estancia en desolados pabellones psiquiátricos, cerrados a cal y canto. Se trata también de un rasgo hereditario, que estigmatiza por igual a los miembros de la familia afectados y a los que no lo están. Sin terapia médica, la enfermedad maniacodepresiva desencadena manías violentas, psicóticas, y negras depresiones suicidas. Pero no es irremediable. Ella da fe. El litio y la psicoterapia han recompuesto su vida y cordura durante muchos años.

Supo, además, apoyarse en una férrea voluntad y en la suerte. Sufrió el primer episodio cuando terminaba el último curso de educación secundaria. La familia de Jamison se había marchado hacía poco de la ciudad de Washington. Su padre, un meteorólogo maniacodepresivo, dejó su trabajo en las fuerzas aéreas estadounidenses por un contrato con la Rand Corporation en Santa Mónica (California). Aunque a Jamison no le eran desconocidas las mudanzas —en su adolescencia ya había acudido a cuatro colegios—, le resultó difícil adaptarse a California. Su hermano, a quien amaba entrañablemente y de quien recibiría más tarde una ayuda impagable, había partido a la universidad. El padre cayó en una depresión y se dio a la bebida.

En un comienzo ella experimentó una leve manía, de corta duración. "Bullía como una comadreja enloquecida, rebosante de planes y entusiasmos", escribe. Pero estas emociones grandilocuentes pronto se transformaron en despechos. Pasó meses enteros pensando en la muerte, con frecuencia añadía vodka al zumo de naranja que se tomaba por las mañanas y se encontraba "literalmente inerte, con el corazón muerto y la mente fría como la arcilla". Pero con la misma presteza con la que habían venido, sus cambios de humor se desvanecieron. Para volver, con renovada intensidad, en los primeros años de su carrera en la Universidad de California en Los Angeles (UCLA).



JAMISON ha intentado cambiar la manera de abordar la enfermedad maniacodepresiva

Conforme su temperamento empeoraba y se acercaba la graduación, Jamison cambió de carrera: dejó la medicina por la psicología. "A pesar de que nos enseñaban a hacer diagnósticos clínicos, no se me ocurrió establecer ninguna conexión entre mis problemas y los síntomas que los libros asignaban a la enfermedad maniacodepresiva." Sus altibajos desaparecieron en el año que pasó en la Universidad escocesa de St. Andrews. "Durante el largo invierno del mar del Norte y aun después, viví mi verano salvaje."

En sus escritos y enseñanzas, Jamison ha puesto de relieve desde hace mucho cuán seductoras pueden ser las manías suaves y las depresiones moderadas durante las primeras etapas de la enfermedad. Así no es de extrañar que más de las dos terceras partes de los casos de maniacodepresivos no reciban tratamiento. Es un tema crítico. "El decurso natural de la enfermedad consiste en un episodio inicial a los 18, pongamos. Después transcurren un año y medio o dos hasta el siguiente episodio; después otro año o así de tiempo libre", resume.

Una vez que la dolencia entra en un ciclo tan regular, a menudo responde mucho peor al tratamiento, y los cambios de humor comienzan a solaparse. En realidad, la manía y la depresión no se hallan en dos polos opuestos del espectro emocional, como podría sugerir el eufemismo "trastorno bipolar". En los estados mixtos —repletos de energía maníaca y de pensamientos mórbidos— es más probable que la gente intente suicidarse; sin tratamiento, uno de cada cinco cae.

Ella misma estuvo a punto. En julio de 1974 Jamison empezó a dar clases de psiquiatría en la UCLA. "El verano, la falta de sueño, la sobrecarga de trabajo y unos genes exquisitamente vulnerables me llevaron más allá de mis niveles familiares de exuberancia, a una locura florida." Una tarde a principios de otoño, viendo ponerse el sol sobre el Pacífico desde su sala de estar,

de repente "sentí una extraña sensación de luz detrás de mis ojos y casi inmediatamente vi una enorme centrifugadora negra dentro de mi cabeza". Una figura alta, en la que poco a poco se reconoció a sí misma, colocó un largo tubo en la centrifugadora. "Entonces, de manera aterradora, la imagen aprisionada en mi cabeza estaba ahora completamente fuera de ella. La zumbante máquina se hizo añicos, escupiendo sangre sobre las paredes, las alfombras y la ventana, mezclándose con la luz del sol. Grité una vez y otra. Las alucinaciones cesaron lentamente. Telefoneé a un colega pidiendo ayuda, me serví un whisky largo y esperé a que viniera."

Este colega le aconsejó que visitara a un psiquiatra, quien le persuadió de que dejara la UCLA durante un tiempo y le recetó todo un arsenal de antipsicóticos. Días sin fin de fármacos terribles en extremo —Thorazine, litio, Valium y barbitúricos— surtieron efecto. Pero en la primavera, cuando volvió a sentirse bien, dejó de tomar litio. Muchas de sus razones eran médicas: las elevadas dosis que entonces se recetaban nublaban la vista y provocaban horribles náuseas. Cuando la dosis alcanzó niveles tóxicos, se volvió atáxica. El litio mermó su memoria y capacidad de concentración.

> Enfurecida, arranqué de la pared la lámpara del cuarto de baño y sentí que la violencia me inundaba sin dejarme. "Por el amor de Dios", me dijo él, entrando alborotado, y quedándose después muy quieto. Dios mío, debo estar loca, lo adivino en sus ojos: una pavorosa mezcolanza de preocupación, terror, irritación y resignación. ¿Por qué yo, Señor? "¿Estás bien?", me preguntó. Volviendo la cabeza hacia donde él mira veo en el espejo cómo la sangre chorrea por mis brazos, empapando el ajustado talle de mi preciosa y provocativa combinación, que sólo una hora antes había lucido con una pasión entregada. "No puedo, no puedo, no puedo", me repito a mí misma sin poder articularlo. Las palabras no me salen, y mis pensamientos se precipitan. Golpeo la puerta con la cabeza una y otra vez. Que Dios me detenga. Yo no puedo, sé que vuelvo a estar loca. Le noto preocupado. Pero antes de diez minutos se pone a chillar, y sus ojos brillan con una mirada salvaje de locura contagiosa. "No puedo dejarte así", pero yo digo unas cuantas cosas realmente atroces y me lanzo a su garganta de manera literal. Me abandona, provocado más allá de su aguante e incapaz de ver la devastación y la desesperación interior. No puedo soportarlo y él no se da cuenta; no hay nada que hacer. No puedo pensar, no puedo calmar esta caldera asesina, mis grandes ideas de hace una hora parecen absurdas y patéticas, mi vida está echada a perder y —lo que es peor— amenaza ruina; mi cuerpo es inhabitable. Está enfurecido y dolorido y lleno de destrucción y de energía salvaje desatada. En el espejo puedo ver una criatura a la que no conozco pero con la que debo compartir mi vida y mi pensar.
>
> Entiendo por qué Jekyll se mató antes de que Hyde le dominara por completo. Me tomo una sobredosis masiva de litio sin ningún remordimiento.

Jamison lo había planeado con tiempo, proveyéndose de antieméticos para evitar que su cuerpo vomitara la dosis letal. También colocó el teléfono lejos de su cama para no descolgarlo en solicitud de auxilio. Pero, cuando sonó, su cerebro medio drogado respondió instintivamente. Su hermano, que llamaba desde París, oyó su habla deslavazada, colgó y llamó al psiquiatra. "La deuda que contraje con mi psiquiatra es mayor de lo que puedo describir. Me enseñó que la senda del suicidio a la vida es fría y más fría y más fría aún, pero —con un férreo esfuerzo, la gracia de Dios y el inevitable cambio de aires— la conseguí recorrer."

Cuando Jamison decidió finalmente que el litio era para ella una cuestión de supervivencia, volvió a su centro determinada "a cambiar la manera de percibir y de tratar la enfermedad". En 1977, con dos colegas, estableció un ambulatorio en la UCLA que se especializó en el tratamiento de los trastornos afectivos. En pocos años, se convirtió en una gran institución de investigación y docencia. Recalca la importancia de tratar la depresión maníaca con medicinas y psicoterapia a la vez, lo cual no era por entonces la pauta habitual.

Empezó también a dar conferencias sobre compositores que habían padecido trastornos emocionales, como es el caso de Robert Schumann. Estas charlas desembocaron en una serie de conciertos y en un serial televisivo especial sobre la relación entre la enfermedad maniacodepresiva y las artes. En 1982, durante un año sabático en la Universidad de Oxford y en el hospital clínico St. George de Londres, indagó la elevada incidencia de los trastornos temperamentales entre los escritores y artistas británicos. Más tarde reunió datos mostrando que un número altísimo de eminentes escritores y artistas de los siglos XVIII y XIX habían sufrido muy probablemente la enfermedad maniacodepresiva, entre ellos Lord Byron, Vincent van Gogh y Alfred, Lord Tennyson.

Cierto que la mayoría de los artistas no están locos, ni la mayoría de los maniacosdepresivos poseen dotes artísticas, pero Jamison sugiere que los marcados altibajos emocionales pueden aportar a algunas personas una mayor creatividad. Esta prerrogativa plantea cuestiones difíciles, puesto que la enfermedad maniacodepresiva es genética. Algunos miembros de la Universidad de Stanford, del Laboratorio de Cold Spring Harbor y de la Universidad Johns Hopkins están colaborando, dentro del Consorcio Dana, para encontrar los genes y considerar los aspectos éticos de su logro: "¿Nos arriesgamos a hacer del mundo un lugar más insulso y homogéneo si nos libramos de los genes de la enfermedad maniacodepresiva?", se pregunta. "¿Cuáles son los peligros del diagnóstico prenatal?" En la Johns Hopkins se acaba de realizar un estudio piloto de 50 maniacodepresivos y sus esposas en el que se ha demostrado que la mayoría de las parejas no abortarían un feto afectado.

Aparte del diagnóstico precoz, Jamison cree que encontrar los genes permitirá revelar la bioquímica de la depresión maníaca. "Hay muchas teorías sobre los neurotransmisores, pero a la postre, cuando se encuentren los genes, serán capaces de detectar lo que está averiado." Mientras tanto, nuevas técnicas de formación de imágenes van proporcionando indicios intrigantes. Tanto la resonancia magnética como la tomografía por emisión de positrones muestran imágenes de anormalidades estructurales denominadas hiperintensidades, o también objetos brillantes no identificados, en los cerebros de muchos maniacodepresivos. Nadie ha buscado objetos brillantes en niños con riesgo de padecer la enfermedad que todavía no hayan sido tratados. Hasta entonces, se desconocerá si los objetos brillantes son etiológicos. "Está claro que están relacionados", dice Jamison, añadiendo con una rápida sonrisa: "No tengo todas las cartas de la baraja." Lo que está claro es que ha sabido jugar bien sus cartas.

Ciencia y sociedad

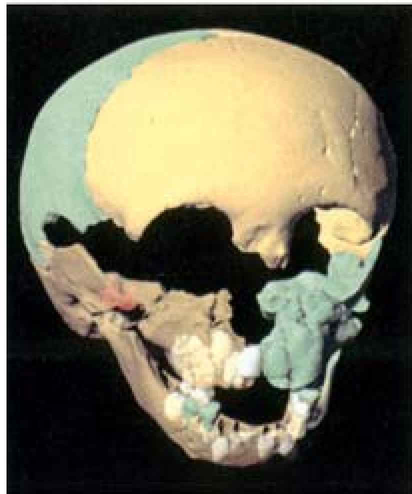
Cráneos neandertales

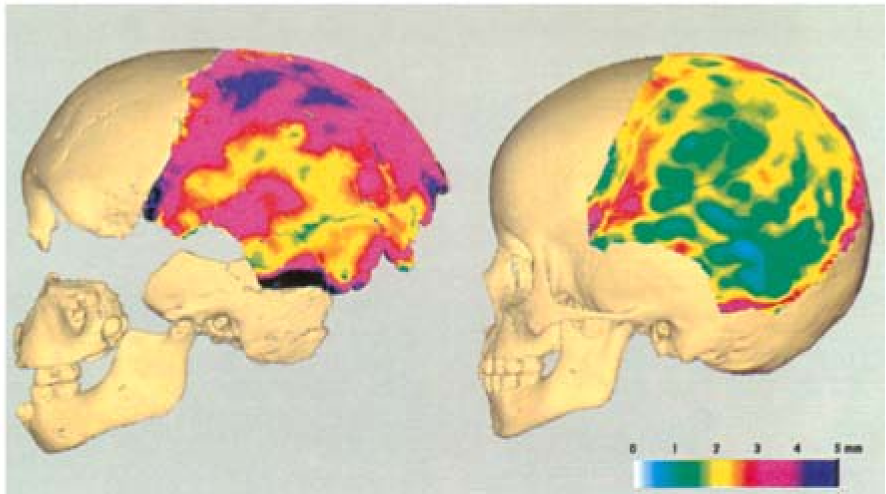
Reconstrucción, morfometría y replicación

El advenimiento de nuevas técnicas ofrece extraordinarias oportunidades para el análisis de especímenes fósiles en paleoantropología. Usando una combinación de tomografía computarizada, reconstrucción con ayuda del ordenador y estereolitografía (*rapid prototyping*) es posible reconstituir, medir y replicar las muestras, prescindiendo de todo tipo de manipulación directa.

La tomografía computarizada es una técnica, no invasiva, que permite separar de la matriz que las alberga estructuras óseas fosilizadas, siempre que la diferencia de densidad entre aquélla y éstas lo posibilite. Asimismo, visualiza estructuras internas escondidas. La investigación inicial sobre dientes no erupcionados, estructuras reducidas como el laberinto del oído interno y la morfología interior del cráneo de primates fósiles han demostrado ya la







Combinando tomografía computarizada, grafismo informático y estereolitografía fue posible reconstituir el cráneo del niño neandertal de Devil's Tower partiendo de sólo cinco fragmentos originales. La copia estereolitográfica se coloreó conforme a los fragmentos originales (arriba). *En la reconstrucción virtual* (abajo, izquierda) *distinguimos: fragmentos originales* (amarillo)*, imágenes especulares* (verde)*; estructuras internas: laberinto* (rojo)*, gérmenes de la dentición permanente* (blanco)*. Por último* (abajo, derecha)*, se ofrece la comparación morfométrica del grosor del hueso parietal: niño neandertal* (izquierda)*, niño actual* (derecha)

eficiencia y el potencial de este método.

Con ayuda del ordenador y gracias a un nuevo programa ("software") desarrollado por nosotros en la Universidad de Zurich, los datos tomográficos obtenidos de las muestras fósiles pueden medirse y reconstruirse, con alta fidelidad, en tres dimensiones. Durante el proceso de reconstrucción, se puede ubicar y reponer fragmentos, completar partes que faltan en un lado del espécimen por simetría especular del otro y corregir deformaciones. Por último, la nueva técnica de estereolitografía, que consiste en la fotopolimerización sucesiva de delgadas capas con láser ultravioleta, permite no sólo la reproducción de copias sólidas, equivalentes a moldes convencionales, de los objetos reconstruidos en el ordenador, sino también ampliaciones y reducciones de las mismas.

Se ha recurrido a este procedimiento para reconstruir y, consiguientemente, reinterpretar, entre otros, los fragmentos craneales del niño neandertal de Devil's Tower, Gibraltar.

El espécimen gibraltareño consiste en cinco fragmentos cráneo-faciales: el frontal, el parietal izquierdo, el temporal derecho, el maxilar superior derecho y la mandíbula incompleta (*parte superior de la ilustración*). Sólo dos de estas piezas originales, el frontal y el parietal izquierdo, se articulan directamente entre sí. En un comienzo, todos los fragmentos se atribuyeron a un solo individuo que tendría de tres a cuatro años de edad en el momento de su muerte. Más tarde, se sugirió que los fragmentos procedían de dos individuos de edades diferentes.

La reconstrucción tridimensional se efectuó en varias etapas. Por simetría especular a partir de los lados opuestos existentes, se reconstruyeron el ramo izquierdo ascendente y los premolares derechos de la mandíbula. La importancia de este primer paso radica en que tal recomposición posibilita comprobar la oclusión dental entre el maxilar inferior y los maxilares superiores derecho (original) e izquierdo (imagen especular). La verificación se llevó a cabo con modelos estereolitográficos producidos para este objeto.

En un segundo paso, conseguimos visualizar el laberinto óseo contenido en el temporal derecho, para emplearlo a modo de compás anatómico para colocar el hueso circundante en su posición de origen.

Por último, el temporal anatómicamente orientado y su imagen especular se repusieron sobre los cóndilos mandibulares. Se prosiguió articulando el parietal izquierdo y su imagen especular con el frontal y se yuxtapuso este complejo a los temporales, encajados ya con anterioridad. Gracias a que el maxilar superior original conserva una parte del borde inferior de la órbita, fue posible establecer la altura de la misma. Al propio tiempo, se rectificó la posición de los maxilares.

Las dos porciones, superior e inferior, del cráneo, restauradas por separado, presentan una notable correspondencia anatómica, lo que abona la tesis de que todos los fragmentos en efecto pertenecen a un solo individuo.

Por otra parte, no puede invocarse la aparente diferencia (disparidad) entre las edades calculadas para la erupción dental y para el estado de desarrollo en la región del oído, basada en comparaciones con patrones humanos actuales. Antes bien, la reconstrucción corrobora la idea, sugerida por otros autores, de que la erupción dental en los neandertales era más adelantada que en los humanos actuales.

Paralelamente, y con objeto de verificar la precisión de la reconstrucción del cráneo del niño de Gibraltar, incluida la simetría bilateral del mismo, se reconstituyó el cráneo, casi completo, de un niño actual de edad dental análoga, recuperado de un yacimiento arqueológico. Se usó el mismo procedimiento que con el ejemplar neandertal. En la reconstrucción tridimensional con ayuda del ordenador, se fueron eliminando progresivamente partes del cráneo, hasta quedar con los mismos fragmentos que sirvieron de partida en el caso del niño neandertal. Se replicaron las cinco piezas, se completaron, ubicaron y repusieron exactamente de la misma manera que se hizo con las del niño de Devil's Tower, para alcanzar así una reconstrucción equivalente. La comparación morfométrica revela que esta reconstrucción del cráneo del niño actual diverge aproximadamente ± 3 % del original.

Sin embargo, con nuestro programa informático las reproducciones estereolitográficas del cráneo del niño de Gibraltar alcanzan una precisión de ± 0,7 % del original, con un rendimiento, pues, muy superior a los moldes tradicionales. La estereolitografía presenta ventajas evidentes frente a los métodos clásicos por su carácter no invasivo y su exactitud en las copias de cavidades y estructuras frágiles.

No sólo eso. La reconstrucción con ayuda del ordenador también permite un amplio análisis morfométrico en una, dos y tres dimensiones. Tres cráneos de niños modernos y tres de niños neandertales (Gibraltar, Bélgica y Francia), de edad dental comparable, fueron estudiados con este objeto. Es bien sabido que los neandertales tienen estructuras óseas mucho más robustas que los humanos actuales. Sin embargo, la cuantificación de esta diferencia presentaba considerables problemas debido a la variación individual del tamaño y la fluctuación local de grosor de los huesos. Los mapas del parietal, generados con ayuda del ordenador, confirman la fluctuación del grosor. Gracias a nuestro programa de ordenador, capaz de medir innumerables puntos en el ejemplar, se comprueba que el grosor promedio del hueso parietal es más alto en los neandertales. Esta diferencia cuantitativa, y otras estudiadas, en la morfología craneana en niños de temprana edad (3-4 años) corroboran la idea de que los neandertales constituyen una especie propia.

En resumen, el uso de nuevos métodos con ayuda del ordenador abre nuevos caminos en paleoantropología y permite alcanzar conocimientos más profundos sobre objetos fósiles sin alterar la integridad de los mismos.

MARCIA S. PONCE DE LEÓN y
CHRISTOPH P. E. ZOLLIKOFER
Instituto de Antropología de la
Universidad de Zurich

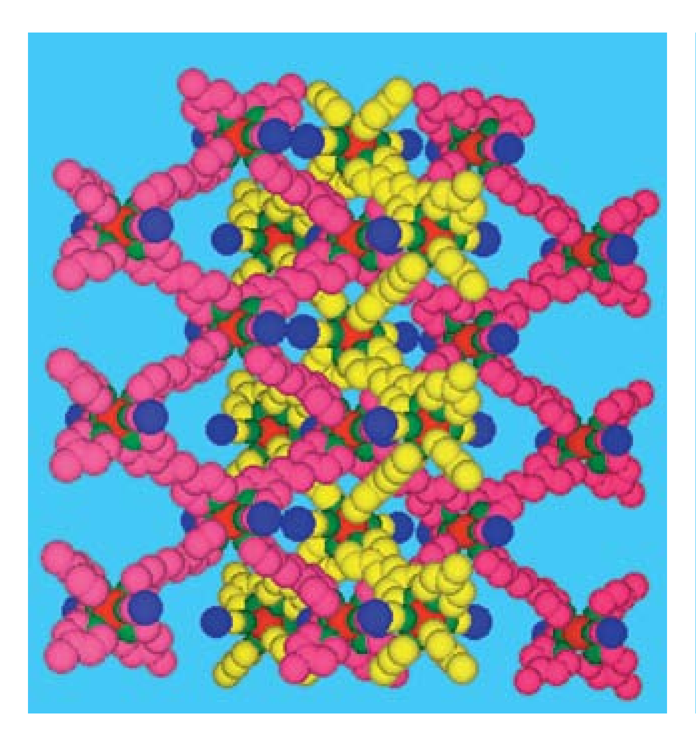
Magnetismo

Supramolecular

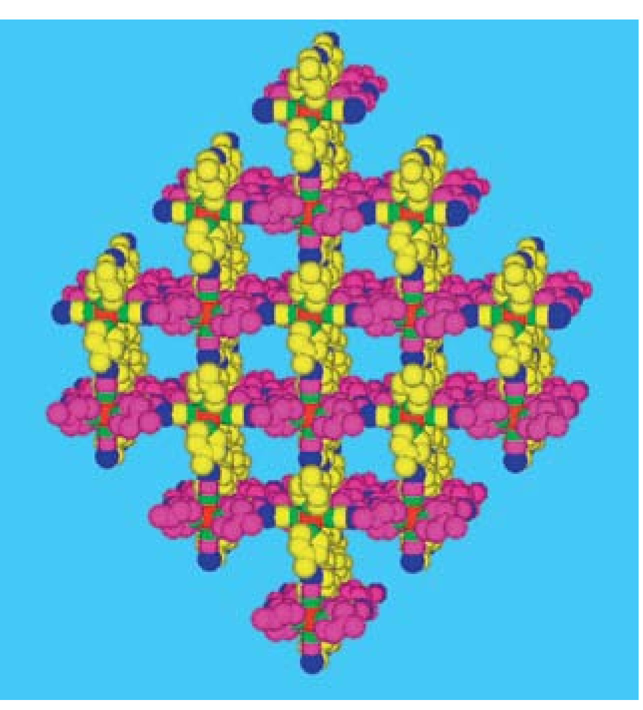
La forma más simple de organización de un pequeño número de átomos conectados por interacciones covalentes es una molécula. Un nivel superior de organización corresponde al acoplamiento de moléculas para dar especies supramoleculares.

El ensamblado de los componentes moleculares tiene lugar por medio de fuerzas intermoleculares en donde prevalecen interacciones coulombianas, enlaces de hidrógeno, interacciones "pi" entre ligandos orgánicos insaturados, etc.

Utilizando estas fuerzas, e incluyendo la química de coordinación, pueden conseguirse diversas formas básicas de organización supramolecular autoorganizadas y ensambladas espontáneamente, tales como helicatos, catenanos, y otros. Este "mecano"



1. Estructura del $Fe(tvp)_2(NCS)_2 \cdot CH_3OH$. Se resalta la interpenetración de las redes perpendiculares. En rojo el ion Fe(II), en verde el N; en azul el S y en magenta/amarillo los átomos de C de diferentes redes



2. Perspectiva en la dirección perpendicular a la de la figura 1, en donde se resalta la organización de los diferentes planos y la formación de canales de sección cuadrada extendiéndose por todo el sólido

molecular puede estar constituido por componentes moleculares con propiedades físicas y químicas predeterminadas, lo que permite construir edificios supramoleculares estructuralmente organizados y funcionalmente integrados. La naturaleza utiliza estas estrategias para construir estructuras supramoleculares tan complejas y funcionales como el ADN.

El magnetismo molecular estudia las propiedades magnéticas de moléculas o grupos de moléculas interrelacionadas en la red cristalina. Estas pueden contener uno o más centros magnéticos (generalmente iones metálicos o radicales orgánicos). El magnetismo molecular conlleva la síntesis química de sistemas moleculares que exhiben propiedades magnéticas predecibles, lo cual supone el empleo de estrategias que derivan del entendimiento del mecanismo subyacente del fenómeno, mecanismo que puede analizarse desde diferentes niveles de aproximación en el marco teórico de la mecánica cuántica.

Dentro del magnetismo molecular observamos dos campos de investigación en auge: por un lado, la obtención de imanes de base molecular con temperatura crítica lo más elevada posible, y, por otro, el estudio de compuestos moleculares que presentan el fenómeno de transición de espín electrónico. Estos campos tienen en común el atractivo de ser potencialmente útiles para el almacenamiento de información o como conmutadores moleculares, dada su naturaleza biestable.

La práctica totalidad de los sistemas supramoleculares sintéticos que se conocen son diamagnéticos, es decir, tienden a alejarse del campo magnético aplicado. La participación de componentes moleculares constituidos por iones metálicos paramagnéticos (tienden a acercarse al campo magnético aplicado) es una forma de incorporar el magnetismo como una función supramolecular. Un ejemplo de sistema magnético supramolecular lo constituye el compuesto $Fe(tvp)_2(NCS)_2 \cdot CH_3OH$ [tvp = 1,2-di-(4-piridil) etileno]; este sistema puede considerarse engendrado a partir de la autoorganización y ensamblado espontáneos de unidades preexistentes $[Fe(tvp)_4(NCS)_2]$, que por polimerización se organizan en dos sistemas independientes de planos perpendiculares entrelazados (catenano) (*figura 1*) y definen, además, canales de gran tamaño en una de las direcciones del cristal (*figura 2*). En este sistema los iones hierro (II) presentan el fenómeno de transición de espín electrónico en virtud del cual el sólido cambia sus propiedades magnéticas (diamagnético-paramagnético) de forma reversible por la acción de una perturbación externa —un gradiente de temperatura o presión— e incluso por la acción de una radiación electromagnética del ultravioleta o el visible.

Otro ejemplo que refleja la importancia del binomio magnetismo-química supramolecular se encuentra en la síntesis racional de imanes de base molecular. En este campo, el ensamblado tridimensional de las unidades moleculares magnéticas preexistentes constituye un problema fundamental en el que se ha dado un paso conceptual importante basado en una de las características principales de la química supramolecular: el reconocimiento molecular. En efecto, el complejo octaédrico catiónico $[Fe(bipi)_3]^{2+}$ (bipi = 2,2'-bipiridina) presenta dos formas enantiómeras, una Δ y otra Λ. También, el complejo aniónico $[Fe(C_2O_4)_3]^{4-}$ es octaédrico y presenta ambos isómeros. La mezcla de disoluciones acuosas de ambos componentes produce la precipitación inmediata de un sólido cristalino cuyo esqueleto está formado por una red tridimensional, en cierto modo semejante a la estructura del diamante, pero con unidades formales $[Fe_2(C_2O_4)_3]^{2-}$ en lugar de átomos de carbono.

En dicha red, todos los octaedros de coordinación presentan la misma configuración Δ o Λ: definen huecos

pseudoctogonales que se extienden en una determinada dirección con helicidad única en todo el cristal, de manera que el catión, alojado en estos huecos, está obligado por razones estéricas a adoptar la misma helicidad, tal y como lo hace el acoplamiento de un tornillo en su correspondiente tuerca.

El reconocimiento molecular es, pues, la fuerza motriz responsable de la formación de las redes tridimensionales cargadas, de topología predeterminada, generadas a partir de la conexión de unidades preexistentes, en donde la participación de un contraión de características adecuadas es esencial. La elección de iones metálicos con distintos espines conduce a un sistema ferrimagnético (en permanente imantación).

El comportamiento magnético de agregados moleculares con espín elevado, superparamagnetismo, está asociado al tamaño nanométrico de éstos. La química supramolecular es un útil fundamental en la síntesis de sistemas químicos a escala nanométrica. Su nueva disciplina, la nanoquímica, la convierte, con la incorporación del superparamagnetismo, en pieza clave en la síntesis de nuevos materiales magnéticos constituidos por nanoimanes (un único dominio), que son asiento de nuevos fenómenos clásicos y cuánticos.

La ferritina natural y la artificial son dos ejemplos prototipo de esta clase de sistemas supramoleculares magnéticos. La ferritina, proteína encargada del almacenamiento de hierro [Fe(III)], interviene en vías metabólicas de muchos organismos. Consta de doce subunidades peptídicas que se autoasocian generando un hueco esférico de unos 7,5 nm de diámetro interno, consecuencia del equilibrio entre fuerzas intermoleculares hidrófobas e hidrófilas. En el interior del hueco se almacenan iones Fe(III) en una forma muy parecida a la ferrihidrita (5 $Fe_2O_3 \cdot 9\,H_2O$), y su comportamiento es antiferromagnético por debajo de 240 grados kelvin. La desmetalación de la ferritina natural y la subsecuente metalación controlada, empleando iones Fe(III), Mn(II) etc., conduce a la síntesis de nanoimanes de base supramolecular (ferritina ferrimagnética). Además de su interés intrínseco, estos sistemas brindan la posibilidad no remota de reducir sustancialmente el tamaño del bit de información.

José Antonio Real Cabezos
Depto. de Química Inorgánica
Universidad de Valencia

Desarrollo de *Drosophila*

Regulación del número de células

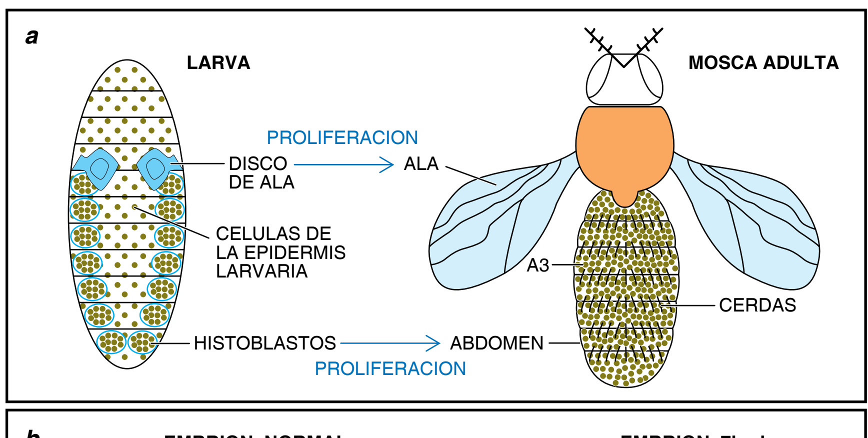
Durante el desarrollo animal, partes del cuerpo diferentes, aunque equivalentes, se van generando de manera independiente unas de otras. Y lo que es más sorprendente, tales partes detienen su desarrollo al mismo tiempo, mostrando un tamaño y forma final muy similares. Esto lo vemos en la formación, por ejemplo, de las manos. Los primordios que darán lugar a la mano derecha y a la izquierda se hallan físicamente separados desde una fase muy precoz de la embriogénesis; sin embargo, el resultado final e invariable del desarrollo normal son dos manos del mismo tamaño y proporción.

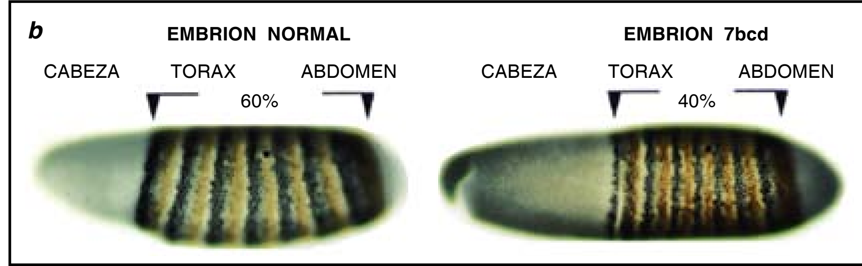
Esa simple observación y otras de parecido tenor nos permiten suponer que el tamaño (número total de células) y la forma (organización espacial de las células) de los organismos se hallan sujetos a control genético. El avance de la biología del desarrollo habrá de dilucidar cuáles son los genes responsables de este control, así como los mecanismos moleculares y celulares que intervienen en el mismo.

La mosca del vinagre *Drosophila melanogaster* atraviesa, en su desarrollo, los estadios de embrión, larva y pupa, para convertirse finalmente, mediante un proceso de metamorfosis, en mosca adulta. El cuerpo del díptero se divide en segmentos cefálicos, torácicos y abdominales; las estructuras cuticulares que los protegen se forman a partir de dos clases de grupos celulares: los discos y los histoblastos.

Existe un disco por cada pata, ala, etcétera. Los discos proliferan durante el estadio larvario y generan las alas, patas, etc., del adulto. Constan de una monocapa celular, en forma de saco, que flota en la linfa y se conecta a la larva por medio de pedúnculos. Gracias a esta disposición espacial, las divisiones celulares de la monocapa no están sujetas, en principio, a restricciones espaciales extrínsecas, sino sólo a las intrínsecas de cada disco.

Los histoblastos abdominales, de los que hay varios grupos por cada segmento, se encuentran mezclados con las células de la epidermis larvaria y proliferan durante el período pupal para generar la cutícula abdo-





En esta ilustración representamos, arriba, la localización, en la larva, de los discos e histoblastos que generan las estructuras cuticulares adultas; por mor de sencillez, sólo se muestran el disco de ala, algunos de los grupos histoblásticos y las estructuras dorsales de la mosca adulta. Abajo se ofrecen el embrión normal y embrión 7bcd teñidos con anticuerpos que marcan los segmentos torácicos y abdominales: las bandas que recorren el embrión. El asterisco señala el segmento A3

minal adulta. Esta proliferación se produce a expensas de la sustitución una a una con las células de la epidermis larvaria que actúan como molde para la división; el abdomen adulto viene a ser así una copia del larvario. Además, ello implica que la proliferación de los histoblastos se halla sometida a restricciones espaciales tanto intrínsecas como extrínsecas al propio grupo celular.

Contamos ya con abundantes pruebas experimentales que denuncian la existencia de mecanismos reguladores del número de células (tamaño) en el desarrollo normal de *Drosophila*. En efecto, si se irradian embriones tempranos con luz ultravioleta, éstos compensan con la inducción de divisiones adicionales la pérdida de núcleos irradiados. También se sabe que los discos promueven ulteriores divisiones celulares para restañar la pérdida de células provocada por un tratamiento externo; se ha calculado, a este respecto, que cuando se irradian larvas con rayos X se mata aproximadamente un 50 % de las células en el disco de ala y, sin embargo, el ala adulta resultante es completamente normal. Asimismo, cuando en un disco de ala cuyas células se están dividiendo se enfrentan grupos celulares con distintas velocidades de proliferación, las células que se dividen más deprisa compiten y ganan a las que se dividen con mayor parsimonia. El resultado de esta competición es un ala normal en tamaño y forma. Tales datos niegan la existencia de un programa rígido del número de divisiones celulares, aunque sí parece darse un programa rígido en el número final de células.

Con Peter A. Lawrence he estudiado la regulación, es decir, la adquisición de un número celular normal, que se presenta en moscas dotadas de siete dosis del gen *bicoid* (las aludiremos como embriones, larvas o moscas 7bcd). El gen *bicoid* especifica el patrón morfológico segmental que advertirmos en el embrión temprano.

La tinción de embriones normales con anticuerpos que marcan los segmentos torácicos (*T*) y abdominales (*A*) nos mostraba que éstos ocupaban un 60 % de la longitud del embrión. Este valor se reducía a un 40 % en embriones 7bcd, indicio de que faltaban células en estos segmentos. Ahora bien, por lo que se podía apreciar, los embriones 7bcd daban lugar a moscas adultas con una morfología normal. Cabía, pues, inferir que los embriones 7bcd corregían el tamaño de los segmentos durante el desarrollo, a través, seguramente, de una regulación del número celular.

Comparamos el número de células de segmentos de embriones normales y de embriones 7bcd en estadios tempranos del desarrollo. Así comprobamos la falta de células en todos los segmentos *T* y *A* de los embriones 7bcd. El segmento más afectado es el tercero abdominal (*A3*) que contiene un 30 % de células menos que el *A3* de un embrión normal en idéntica fase de desarrollo.

¿Cuándo y cómo tiene lugar la adquisición de un número normal de células en el segmento *A3*? El 30 % de reducción observado en *A3* de embriones 7bcd persiste en *A3* de las larvas 7bcd; ello revela que, durante los tres o cuatro ciclos de división que ocurren en el crecimiento embrionario, no se produce regulación. ¿Se corrige el número de células del segmento *A3* durante los ocho o nueve ciclos de división de los histoblastos? En absoluto. Nosotros hemos descubierto que el número de células fundadoras de los grupos histoblásticos está reducido en las larvas 7bcd (de nuevo la reducción es del 30 % en *A3*) y que esta reducción perdura en el número de cerdas (generadas mediante proliferación de los histoblastos) del segmento *A3* de las moscas 7bcd adultas.

Llegamos, pues, a resultados sorprendentes. Rechazan, en efecto, que se dé la supuesta regulación de las moscas 7bcd, generalmente aceptada, amén de contradecir otros estudios según los cuales la regulación del número de células en *Drosophila* formaría parte del desarrollo normal.

Creemos, por contra, que la falta de regulación durante la proliferación de los histoblastos, a diferencia de lo que ocurre en los discos, podría justificarse por las diversas formas de proliferación de estos dos grupos celulares. En primer lugar, la proliferación de los histoblastos está sujeta a restricciones intrínsecas y extrínsecas a las células histoblásticas; el abdomen adulto no se genera *de novo*, sino como una copia del larvario. En segundo lugar, la competición que se desencadena cuando dos grupos de células con distintas velocidades de proliferación se enfrentan en un disco, no se observa si este enfrentamiento se produce durante la proliferación de los histoblastos. Bien podría ser que la capacidad de las células para la competición y la capacidad de regular para adquirir un determinado número de células sean productos del mismo mecanismo en el desarrollo normal de *Drosophila*. El estudio de esta y otras hipótesis nos ayudará a comprender los mecanismos de regulación del tamaño y proporción durante el desarrollo no sólo de *Drosophila* sino, por homología, de organismos superiores, hombre incluido.

ANA BUSTURIA
Instituto Howard Hughes de Medicina
Universidad de Utah

Gen de la sordera

Del ratón al hombre

Por cada 2000 niños que nacen, uno padece de un defecto auditivo severo. Aproximadamente el 16 % de los adultos sufre alguna clase de sordera. En la mayoría de los casos, la sordera congénita viene determinada por mutaciones que afectan al neuroepitelio del órgano de Corti. Esa minusvalía representa un importante problema, físico y comunicativo, para los enfermos y sus familias.

Debido a la complejidad del oído interno y a los numerosos genes implicados en la mayoría de los casos de sordera hereditaria, no se había logrado identificar ninguno de los genes o las mutaciones responsables de esta enfermedad. Pero, gracias a un esfuerzo de colaboración entre investigadores de Inglaterra, Francia y Estados Unidos, se ha conseguido ya identificar un primer gen. Siguiendo diferentes estrategias, se ha descubierto que en el proceso auditivo interviene una miosina de tipo VII.

Las numerosas semejanzas entre el oído humano y el del ratón han facilitado la tarea. El grupo británico utilizó el ratón como modelo genético para identificar el gen responsable de la sordera, ya que en ese animal existen diversos mutantes que sufren dicho defecto; y en el múrido fue donde se identificó el primer gen implicado en la sordera. Más tarde, se demostró que el gen en cuestión era el responsable de una forma de sordera/ceguera en la población humana.

El grupo británico concentró su atención en el ratón mutante Shaker-1 (Sh-1). Los ratones Sh-1 muestran hiperactividad, movimientos descontrolados de la cabeza y desplazamientos en círculo; comportamiento anómalo que se atribuye a deficiencias vestibulares y a defectos neuroepiteliales que provocan la disfunción y degeneración del órgano de Corti.

El ratón Sh-1 constituía, pues, un modelo idóneo para la sordera de origen neuroepitelial en la población humana. Para acotar la mutación Sh-1, había que determinar antes la localización precisa del gen involucrado. Tras cruzar ratones portadores de la mutación Sh-1, el equipo británico estableció que el gen de la sordera de Sh-1 se alojaba en el cromosoma 7 del ratón, cerca de OMP, un gen que cifra una proteína olfatoria. El estrecho ligamiento genético existente entre ambos genes, OMP y Sh-1, abrió el camino para la clonación posicional del gen de la sordera.

El OMP se empleó de gen marcador para la selección, a partir de una genoteca de ratón, de una serie de clones de ADN que se solapaban en la proximidad del gen Sh-1. En la región de Sh-1 se construyó un mapa físico de clones YAC solapantes: clones que pueden transportar largos segmentos de ADN insertos.

El siguiente paso a dar consistía en identificar todos los genes que se alojan en el interior de la región crítica y averiguar cuál de entre ellos es el responsable del fenotipo Shaker-1. Para identificar los genes existentes dentro de los YAC, se recurrió a la técnica de captura de exones, que permite recuperar los exones de los genes, es decir, los segmentos codificadores de proteínas. Con ese método de trabajo se clonaron numerosos exones de la región del Sh-1. La secuencia de uno de estos exones mostraba una estrecha homología con una proteína perteneciente a la familia de miosinas.

Las miosinas ejercen el papel de motores de la células. (La miosina II es la proteína de la contracción muscular.)

Una vez que pudo obtenerse más secuencia codificante, el grupo británico halló que el gen recién descubierto determinaba una miosina VII, clase ésta muy rara, hasta entonces caracterizada sólo en parte y de la que no se conocía función alguna. El análisis de diferentes estirpes mutantes con fenotipo Shaker-1 demostró que todas llevaban la mutación en el gen candidato y sugería que dichas mutaciones anularían la función de la proteína miosina VII. Faltaba ahora por determinar si el gen de la miosina VII era el responsable de la sordera en humanos.

El síndrome de Usher, combinación de sordera y retinitis pigmentosa, es la forma más común de sordera y ceguera en humanos. Se debe a una mutación autosómica recesiva. Existen tres tipos conocidos del síndrome de Usher: I, II y III. Los individuos que padecen el tipo I son profundamente sordos (y en casos muy raros apenas tienen oído residual); además, tienen problemas de equilibrio debido a la disfunción vestibular. Los pacientes de tipo II muestran una pérdida mínima de oído a frecuencias bajas y una pérdida profunda a frecuencias altas. Los sujetos con tipo III manifiestan una lenta pérdida de oído y representan un porcentaje muy bajo en la población. El 50 % de los sordos es del tipo Usher I (USHI) y el otro 50 % del tipo Usher II (USHII). De las tres clases distintas responsables del síndrome USHI, el síndrome Usher tipo IB (USHIB) es responsable del 80 % de USHI y ha sido localizado en el cromosoma 11, en la región 11q13.5, una región en el ser humano que es sinténico con el cromosoma 7 del ratón.

La miosina VII identificada por el grupo británico llevó a los grupos francés y americano a considerar que el gen humano homólogo a Shaker- 1 podía ser el responsable del USHIB. Usando un fragmento del genoma del ratón, se consiguió aislar el gen para la miosina VII de una serie de clones YAC que cubrían la región entera donde se había localizado USHIB. Analizaron las mutaciones en las familias afectadas de USHIB y se demostró que el gen responsable de este síndrome es el mismo que provoca la enfermedad Shaker-1 en el ratón. Se comprobaba así que Shaker-1 y USHIB son genes homólogos, aunque el fenotipo de los mutantes de Sh-1 difiera del fenotipo de los pacientes USHIB, ya que en ninguno de los ratones mutantes se observa retinitis pigmentosa. Fenómeno éste que puede deberse a la existencia de otra miosina que compensa la función de la miosina VII afectada en el ratón, o tal vez a que las mutaciones sean de suyo distintas y originen fenotipos diferentes.

Las miosinas no convencionales son moléculas cuyas cabezas presentan un alto grado de conservación, mientras que sus colas divergen mucho unas de otras. Las cabezas de miosina se desplazan a lo largo de los filamentos de actina aprovechando la acción de la enzima ATPasa dependiente de actina. Las colas, al parecer, se unen a diferentes macromoléculas.

No se conoce la función exacta que la miosina VII cumple en el proceso de audición. Aun cuando se ha detectado un tipo de miosina en las células ciliares del oído interno, no ha podido demostrarse que se trate de una miosina VII. Quizá se halla directamente implicada en el mecanismo de adaptación del oído interno, es decir, en la capacidad del oído para recuperarse tras responder a un sonido repetitivo y prepararse para recibir otro nuevo. El motor molecular responsable de esta capacidad de adaptación parece ser el responsable del ajuste de la tensión entre dos esterocilios.

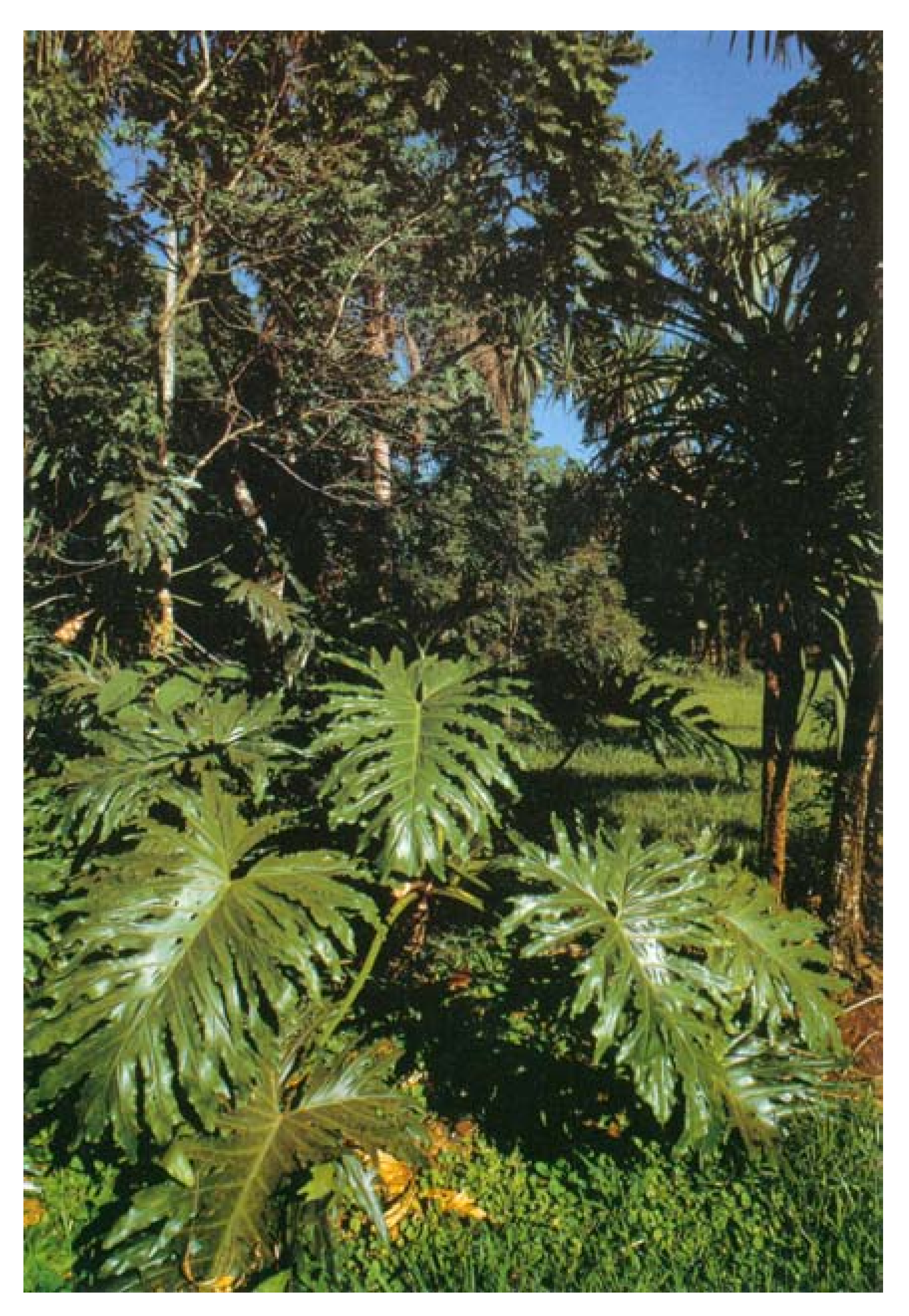
Con la identificación de este gen causante de una sordera autosómica recesiva se ha dado un gran paso hacia la comprensión de la base molecular de la transducción auditiva. Este descubrimiento habrá de conducir a la identificación de otras moléculas implicadas y su modo de interacción, lo que, a su vez, permitirá conocer mejor el desarrollo de los síndromes de sordera/ceguera, y posiblemente aliviar la enfermedad e incluso corregir el proceso patológico.

ANABEL VARELA
y STEVE D. M. BROWN
Colegio Imperial de Londres

De cerca

Fotos: Xavier Ferrer y Adolfo de Sostoa
Texto: Xavier Ferrer

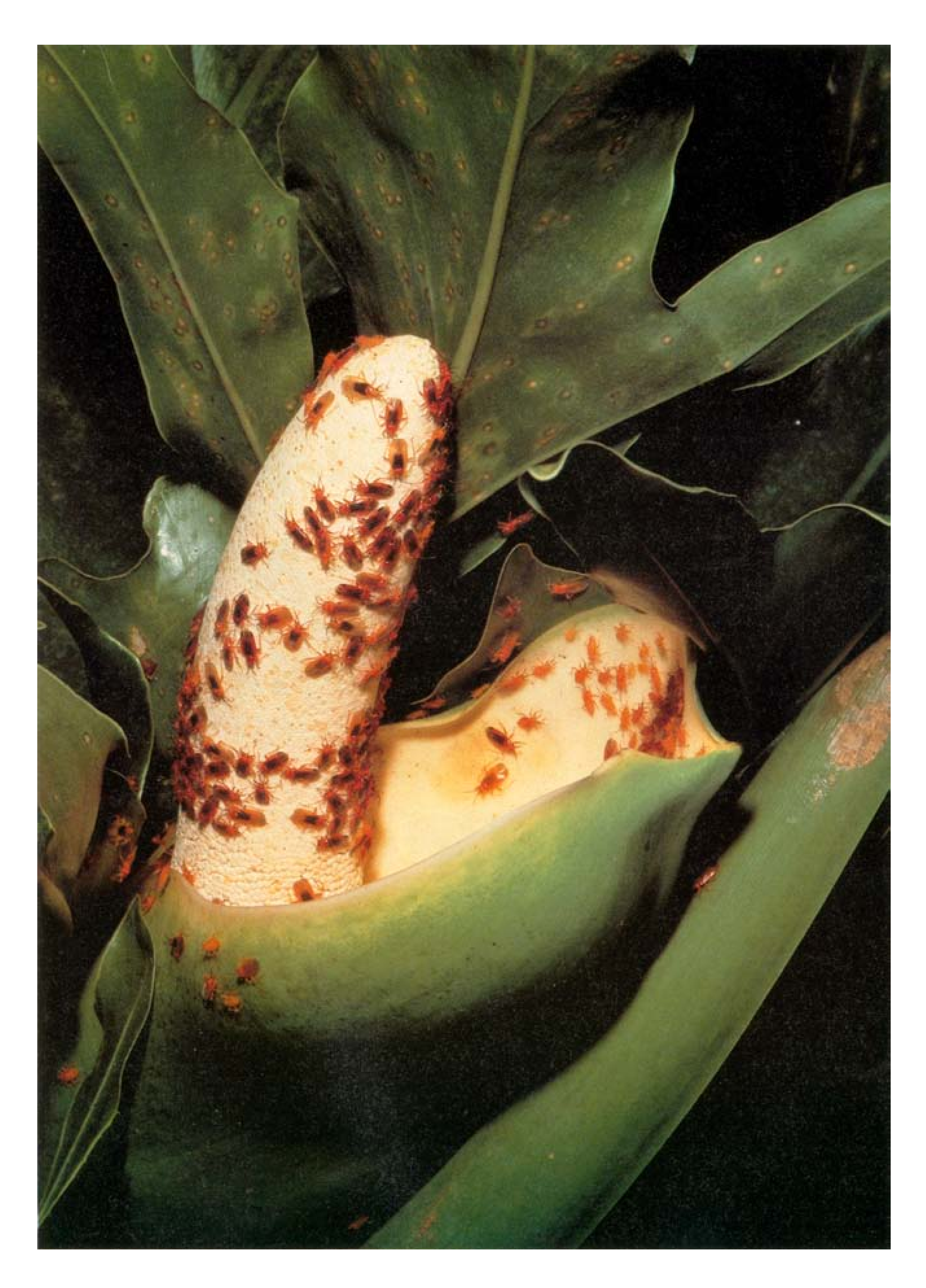
Polinización caliente



Quizás en casa, o en la de los amigos, hayamos visto una planta de interior muy extendida, el filodendro. Pero el género *Philodendron* es también una arácea trepadora que habita en las selvas tropicales y subtropicales. Las aráceas revisten particular interés por sus sistemas de polinización. Uno de los más sugestivos es la denominada polinización caliente.

Las flores unisexuales se sitúan en el espádice (la estructura clara con forma de columna), rodeado y protegido por una falsa hoja de nombre espato. En la parte inferior del espádice se alojan las flores femeninas, en la media las masculinas y en la superior las flores estériles nutritivas. Estas acumulan lípidos y ceras cuya oxidación eleva la temperatura entre 15 y 17 °C por encima de la temperatura ambiente y volatiliza los aromas que atraerán a los insectos polinizadores. Los himenópteros de la fotografía acuden a la planta para reproducirse, se alimentan de sus flores estériles y polinizan los estigmas a través de una secuencia orquestada de apertura de las flores masculinas y femeninas que impide la autofecundación.

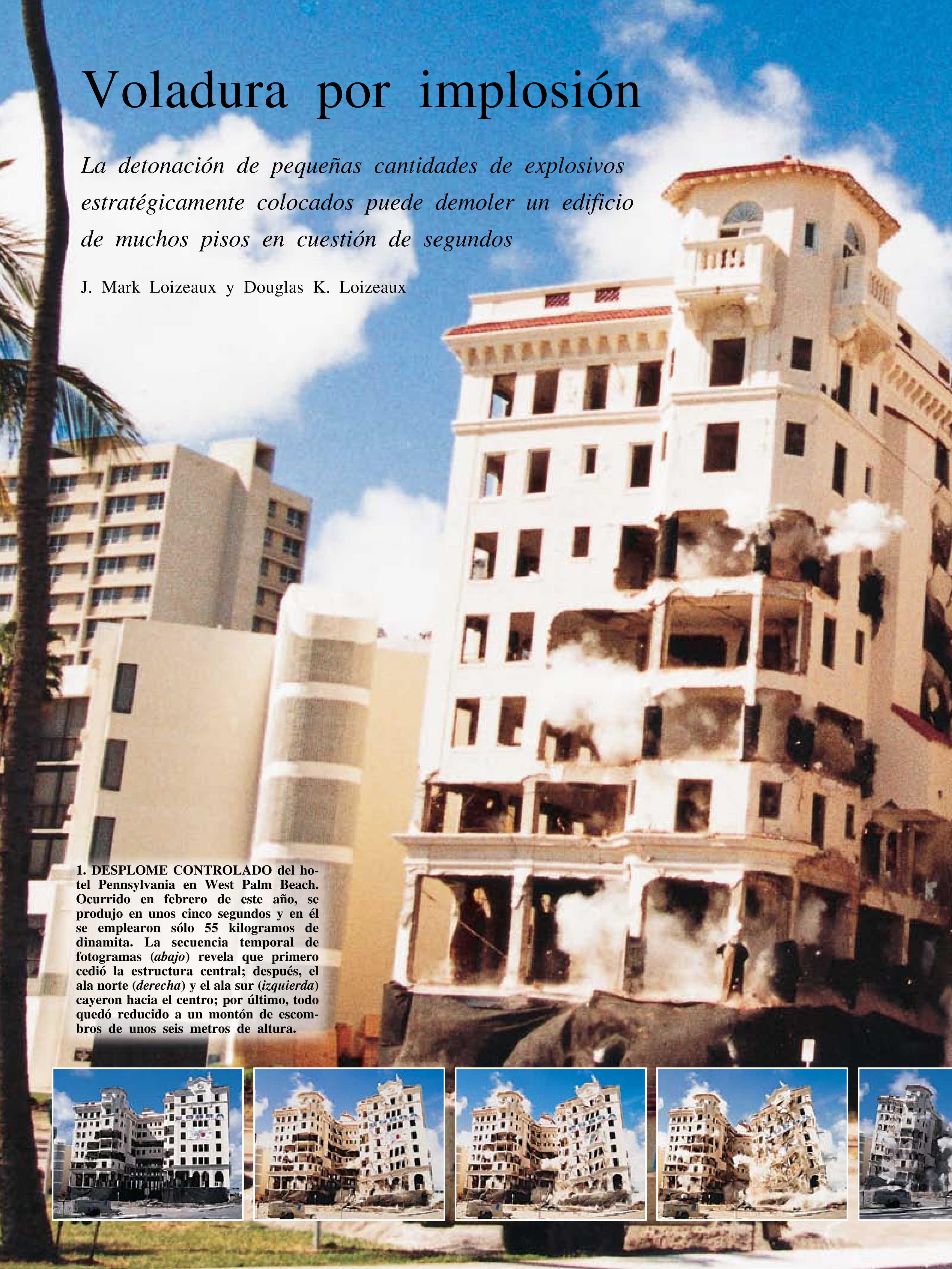
Nos encontrábamos en Iguazú cuando, en las cercanías de la casa del guardaparque, vimos un *Philodendron bipinnatifidum* (güembé lo llaman allí) florido, excelente para fotografiarlo. A corta distancia, nos dimos cuenta de que unos himenópteros estaban polinizando la flor. Fotografiamos la planta con un objetivo de 50 mm; la flor y los insectos, con flash y macros de 100 y de 200 mm.



Voladura por implosión

La detonación de pequeñas cantidades de explosivos estratégicamente colocados puede demoler un edificio de muchos pisos en cuestión de segundos

J. Mark Loizeaux y Douglas K. Loizeaux



1. DESPLOME CONTROLADO del hotel Pennsylvania en West Palm Beach. Ocurrido en febrero de este año, se produjo en unos cinco segundos y en él se emplearon sólo 55 kilogramos de dinamita. La secuencia temporal de fotogramas (*abajo*) revela que primero cedió la estructura central; después, el ala norte (*derecha*) y el ala sur (*izquierda*) cayeron hacia el centro; por último, todo quedó reducido a un montón de escombros de unos seis metros de altura.


COBRA
DEMOLITION







2. PREPARACION DEL HOTEL para la implosión. Se partió primero el edificio en dos (*arriba, visto desde la parte trasera*), tajo que ayudaría a que las alas norte y sur se precipitaran hacia el centro. Mediante cables de acero se conectaron las columnas (*arriba a la izquierda*) para favorecer que el ala sur del edificio se mantuviese apartada de una residencia que había al otro lado de un estrecho callejón. Una explosión de prueba, realizada varios días antes de la implosión, permitió apreciar el estado estructural de las columnas (*abajo a la izquierda*) y mostró la debilidad del hormigón.

El hotel Pennsylvania, una estructura de tipo mediterráneo remodelada y pintada de color crema, estaba situado en la laguna interior de West Palm Beach, Florida. Se había construido hacía 69 años. Durante las primeras cuatro décadas acogió huéspedes de paso, entre ellos estrellas famosas como Elvis Presley y Hoagy Carmichael. En 1964, una orden religiosa, las hermanas carmelitas, decidió cambiar el destino de aquel edificio de ocho plantas para convertirlo en un hotel de retiro para personas de edad avanzada. Andando el tiempo, las hermanas pensaron que había que sustituirlo por otro que ofreciese unas instalaciones más modernas.

Y así, el sábado 18 de febrero de 1995 se demolió, en apenas cinco segundos, el hotel Pennsylvania. Hacia el mediodía, el repiqueteo producido por las cargas de dinamita resonó por las calles de la ciudad y a través de las aguas. En un santiamén se desplomó la sección central del techo. Su caída arrastró el resto del edificio.

Inmediatamente se levantó una nube pardusca de polvo que alcanzó treinta metros de altura, la misma que la del hotel. Se dispersó en un minuto, dejando al descubierto seis metros de escombros, el montón en que se había convertido el edificio. A unos cuatro metros del ala sur del hotel hay otro edificio, que permaneció incólume aunque le llegó la ola de polvo.

La voladura del hotel Pennsylvania constituye un ejemplo de demolición denominado implosión. Así bautizamos esta técnica en nuestra compañía, Controlled Demolition Incorporated (CDI), de Phoenix. El término, extraído de la física, significa violenta explosión hacia el interior. Esa voladura controlada no tiene nada que ver con “hacer saltar por los aires” un edificio, expresión asociada con los miles de kilogramos de cargas explosivas que se emplean en atentados terroristas. En la demolición de un edificio, sólo se utiliza la dinamita indispensable para derruir sus principales soportes estructurales: con noventa kilogramos suele bastar para demoler un edificio de diez plantas. El peso del edificio provoca su propio colapso.

Importa menos la cantidad de explosivos que la situación de las cargas y la temporización de la detonación. Las cargas han de explotar en aquellos puntos donde la estructura fallaría de modo natural, si se la sobrecargase o aplastase hasta su modo natural de hundimiento. Mediante un cálculo cuidadoso del lugar de colocación de las cargas —y de la secuencia de las detonaciones— podemos determinar dónde caerán los cascotes de acero y hormigón: la pared medianera con otro edificio puede separarse antes de derrumbarse sin dañar la estructura adyacente. Esta secuencia de acontecimientos se produce en segundos, frente a las semanas o meses de ruido y suciedad que produce el derrumbamiento de una estructura mediante una bola de demolición o un desmantelamiento manual.

Las técnicas de demolición por implosión no se aprenden en las escuelas de ingenieros. En realidad las han ido perfeccionando principalmente miembros de nuestra familia. Nuestra experiencia, amasada durante cinco décadas, se ha fraguado en la voladura controlada de más de 7000 estructuras; entre ellas, más de 1700 grandes edificios. No es fácil encontrar otra empresa que haya recorrido una historia similar en el dominio del colapso de edificios con explosivos.







3. PARA CARGAR LA DINAMITA EN LAS COLUMNAS hubo que perforarlas con un vehículo equipado con un taladro rotatorio (*arriba a la izquierda*). Después, se abrieron los cartuchos de dinamita y se insertaron los detonadores (*abajo a la izquierda*). Acolchada por pequeñas bolsas de arena, la dinamita cebada se apretó con una vara de madera (manejada por Doug, *arriba a la derecha*).

Hasta finales de los años cincuenta, se empleaban a veces explosivos en zonas abiertas para abatir chimeneas o estructuras industriales inactivas. Nuestro padre, Jack Loizeaux, generalizó y mejoró estas técnicas iniciales. Fue ganando experiencia en el empleo de explosivos para arrancar árboles afectados por la enfermedad del olmo holandés. Jack, que ha cumplido los ochenta, empezó hace cincuenta años a aplicar su habilidad en la demolición de chimeneas, puentes y, de vez en cuando, edificios de varias plantas. En 1957, introdujo su técnica del derribo en zonas urbanas densamente pobladas. Nosotros nos iniciamos en la colocación y detonación de explosivos siendo aún muy jóvenes, y nos hicimos cargo de la empresa cuando Jack se jubiló.

Cada construcción tiene su propia personalidad, que se manifiesta no sólo en su diseño, sino también en las latas de sardinas de hace sesenta años y en los trozos de periódicos de antes de la segunda guerra mundial que aparecen al derribar paredes y al horadar los soportes para colocar la dinamita. El carácter distintivo de un edificio se revela también en los retos técnicos que plantea en virtud de la presencia de anomalías estructurales o a causa de la proximidad de otras construcciones que deben permanecer incólumes. El hotel Pennsylvania no era ni la mayor ni la más compleja de las estructuras que hemos volado, pero su destrucción con explosivos ilustra las estrategias que empleamos y la clase de problemas que hemos de abordar.

A primera vista, el hotel no parecía entrañar especiales dificultades. Había que asegurar, eso sí, que la implosión no dañara la residencia asistencial Lourdes-Noreen McKeen, que regentaban también las hermanas carmelitas; situada a unos cuatro metros del ala sur del hotel, la separaba un callejón.

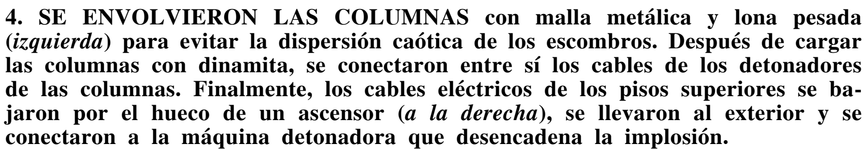
Lo ideal hubiera sido contar con los planos del hotel, que nos ayudasen a preparar la implosión, pero no existía ninguno de un edificio tan antiguo. Dispusimos, sin embargo, de un plano representativo del interior donde se mostraba la ubicación de las salidas de incendios y las columnas de la construcción, aunque algunos de los emplazamientos indicados para las columnas resultaron ser incorrectos. Partiendo de esta información, y de la que se obtuvo de un primer desplazamiento de Douglas a Florida para inspeccionar la consistencia del hormigón y la clase de acero que reforzaba las columnas, llegamos a la conclusión de que la implosión requeriría colocar unos doscientos gramos de explosivos en cada uno de los 400 agujeros que se tendrían que practicar en las columnas de tres plantas. Así pues, señalamos a la empresa local que nos había contratado dónde realizar los agujeros.

Nuestra relación con este contratista, Cobra, Inc., era la habitual en muchos de nuestros proyectos. Solemos ejercer de consultores del propietario —en este caso, las hermanas carmelitas— y trabajar como técnicos subcontratistas para la empresa de demolición principal. Realizamos la planificación y, una vez que el edificio está preparado, asumimos la responsabilidad de ejecutar la implosión.

Antes de nuestra llegada, Cobra tenía que vaciar el edificio, salvo las 11.000 toneladas de columnas, vigas, suelos y muros exteriores que mantenían la fábrica en pie. Antes del día de la implosión, la compañía había retirado 4500 toneladas de escombros,







4. SE ENVOLVIERON LAS COLUMNAS con malla metálica y lona pesada (*izquierda*) para evitar la dispersión caótica de los escombros. Después de cargar las columnas con dinamita, se conectaron entre sí los cables de los detonadores de las columnas. Finalmente, los cables eléctricos de los pisos superiores se bajaron por el hueco de un ascensor (*a la derecha*), se llevaron al exterior y se conectaron a la máquina detonadora que desencadena la implosión.

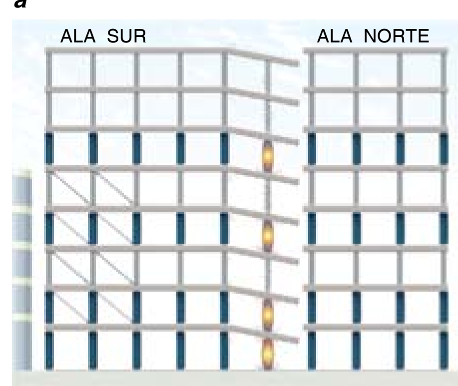
incluyendo los restos de un ascensor, un aparcamiento y una piscina.

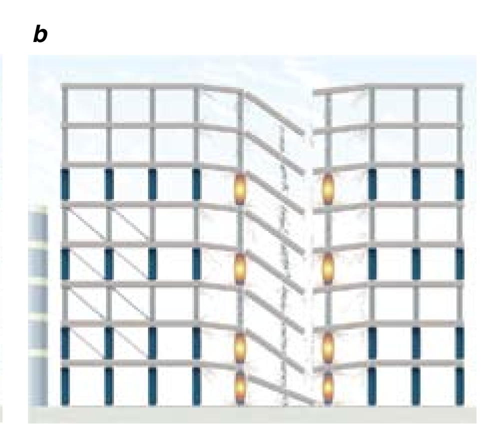
El primer atisbo de que el trabajo podía resultar más difícil de lo esperado lo tuvimos dos semanas antes de la fecha fijada para la voladura, en el curso de una conversación telefónica con el presidente de Cobra. Nos comentó que los 400 agujeros se habían taladrado en un intervalo temporal muy corto, demasiado corto a nuestro entender. La rapidez de los operarios, que realizaron 100 o más orificios diarios, era una señal de que el hormigón se hallaba en peores condiciones que lo que nos pareció en una inspección inicial y que las barras de acero que reforzaban las columnas se habían deteriorado notablemente durante la larga vida del edificio. Una prueba posterior —la detonación de pequeñas cargas de dinamita en columnas seleccionadas— confirmó el mal estado de los materiales.

El hormigón es una mezcla de cemento, agua y áridos, a menudo grava, denominados agregados. La adhesión del cemento a los agregados confiere al hormigón la resistencia a la compresión necesaria para soportar las elevadas cargas que recaen sobre las columnas que mantienen el edificio. En Florida, los constructores de muchos edificios antiguos habían empleado cemento con arena de playa sin una limpieza previa que eliminase la sal y habían utilizado por agregado caliza de cocina, que es esencialmente coral calcificado. Además de su fácil desgaste, este hormigón no se adhiere correctamente a las armaduras de acero reforzantes que aportan resistencia a la tracción (capacidad para soportar acciones de estiramiento). La sal de la arena desencadena un lento proceso de oxidación de las barras de refuerzo, que relaja su adherencia con el hormigón y debilita la estructura.

Un hormigón debilitado puede limitar gravemente nuestro control so-

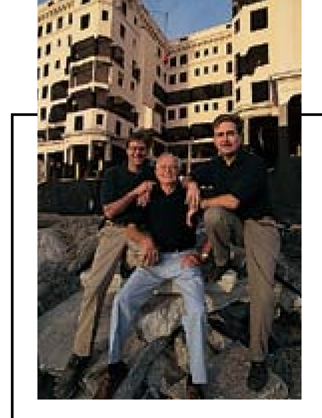






bre la velocidad de colapso del edificio y sobre el lugar de caída de los escombros tras la detonación de la dinamita. La demolición por implosión se asemeja al arte de un experto judoka que realiza una llave en la pierna del adversario y consigue desequilibrar a su oponente hasta que cae a la estera. Los maestros de las artes marciales sacan ventaja del equilibrio natural y de la resistencia intrínseca del cuerpo del oponente — la rigidez de la caja torácica y otras estructuras óseas. De forma similar, nosotros debemos asegurarnos de que las columnas y las vigas del edificio que derrumbamos mantengan rigidez suficiente para poder guiarlas hacia donde nosotros queremos. De otro modo, la ignición de los explosivos se asemejaría a la explosión de un petardo en un montón de basura: los restos se esparcirían en todas direcciones.

Por todo ello, una construcción frágil como la del hotel Pennsylvania había que reconstruirla parcialmente antes de volarla. En algunos otros trabajos nos hemos visto obligados a añadir hormigón e instalar abrazaderas para reforzar la estructura antes de su implosión. Aunque no fue preciso agregar hormigón en Palm Beach, se adoptaron ciertas precauciones antes de colocar la dinamita, con el fin de asegurar que el edificio cayera lejos de la residencia situada al otro lado del callejón.



J. MARK LOIZEAUX (*derecha*) y DOUGLAS K. LOIZEAUX (*izquierda*) aprendieron de su padre Jack (*centro*) a manejar los explosivos para volar edificios. Su empresa, "Controlled Demolition Incorporated" (CDI), de Phoenix, se ha ocupado de la demolición por implosión de casi dos mil grandes edificios. Mark se licenció en administración de empresas en la Universidad de Tennessee, donde también estudió ingeniería de estructuras. Doug se licenció en comunicaciones por la Universidad Towson de Baltimore.

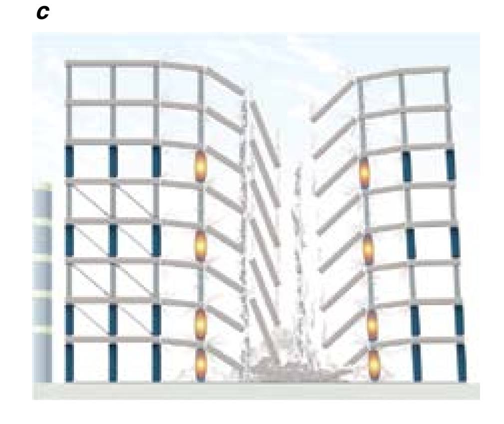
Se precisaba que las vigas de hormigón que constituían los soportes de las distintas plantas colapsaran de suerte tal, que tirasen del edificio alejándolo del callejón. A causa de la fragilidad del hormigón tuvimos que ayudar al "arrastre" natural de las vigas. Se consiguió mediante el anclaje de cables de acero de unos dos centímetros de diámetro entre columnas adyacentes del ala sur, emplazada en el lado izquierdo de aquel edificio en herradura. Los cables se anclaron sobre la cabeza de una serie de columnas, se fijaron a la base de las columnas más próximas al norte y se tensaron. Durante la detonación de las cargas, los tirones oblicuos de los cables ayudarían a arrastrar el ala meridional lejos del callejón y la residencia. Asimismo, debíamos abrir una hondonada que facilitase el amontonamiento seguro de los escombros. Por ello, pedimos a Cobra que excavase en la planta baja del ala sur y creara un sótano donde antes no lo había.

Había que reforzar el edificio en algunos puntos. Pero teníamos también que favorecer el colapso en otros. Para asegurarnos de que las vigas transversales del viejo hotel tiraran del ala sur alejándola del callejón, le pedimos a Cobra que realizara un cambio estructural en el ala oeste, esto es, en el arco de la herradura. En esencia, los operarios dividieron el edificio en dos partes independientes, abriendo un tajo que se extendía desde la parte frontal a la posterior y desde el suelo hasta el techo del edificio [*véase la parte superior de la figura 2*]. Dejamos intactas unas cuantas vigas de acero de las armaduras que habían conectado ambas partes; aportaban el soporte necesario para evitar el hundimiento prematuro de los suelos durante la semana que el edificio tenía que permanecer en pie.

Nos proponíamos detonar las cargas en una secuencia que provocara que las columnas más próximas al corte fallaran primero, tras lo cual vendría la caída en serie de la fila inmediata de columnas situada a cada lado del corte, luego las siguientes, y así sucesivamente. Además, las columnas del ala norte deberían caer justamente antes que las del ala sur, las cuales se depositarían sobre los escombros del ala norte. Por haber trabajado con estructuras similares, sabíamos que, a menos que se divida el edificio en dos, las primeras columnas que se explosionan no caen al suelo en el momento preciso. El armazón horizontal podría sustentar de manera inestable las columnas verticales durante una fracción de segundo demasiado larga, provocando con ello que las columnas del resto de la estructura cayesen en direcciones impredecibles. De hecho, antes del colapso, las columnas del ala sur podrían inclinarse en la dirección incorrecta provocando el deslizamiento de los cascotes hacia el callejón.

Sin embargo, cortando la estructura podríamos asegurar que las columnas se desplomarían exactamente en la secuencia temporal que habíamos programado. Las vigas trabadas a una columna se convertirían en voladizos inestables. Por ello, cuando cae la primera fila de columnas en uno u otro lado del corte, las vigas hasta entonces apoyadas en los pilares giran en dirección al suelo. Dado que éstas se inclinan (hacia el corte), ejercerían un tirón en diagonal y hacia

c



d



5. EL DIA DE LA IMPLOSION, la máquina (*fotografía*) detonó explosivos en la primera, segunda, cuarta y sexta plantas, como puede verse en los diagramas, que muestran una sección sur-norte del hotel. Las primeras columnas afectadas fueron las más próximas al corte, por su izquierda (*a*), seguidas medio segundo después por las siguientes en cercanía al tajo por ambos lados (*b*). Al avanzar las explosiones de fila en fila, las vigas en voladizo se precipitaron hacia el corte. El ala norte (*c*) y el ala sur (*d*) cayeron una hacia otra, formando un montón creciente de escombros.

Edificios, entre otras cosas

Entre los miles de estructuras que los autores han demolido, está el antiguo ayuntamiento de Orlando (*a la izquierda*) para la película *Arma Letal III*. Lo mismo que en el cine, realzaron los efectos visuales con fuegos artificiales y combustión de queroseno segundos antes de la detonación de la dinamita necesaria para derribar la estructura. Los autores también se encargaron de la demolición de los altos hornos de la U.S. Steel's Youngstown Works, en Ohio (*centro*), del viejo puente Dunbarton sobre la bahía de San Francisco (*arriba, a la derecha*) y de un pilar de hormigón armado del puente Sun Shine Skyway, en San Petesburgo, Florida (*secuencia en la parte inferior derecha*). Entre los proyectos no mostrados, cabe citar la demolición de 26 edificios dañados tras el devastador terremoto de 1985 en Ciudad de México, el edificio de la Travelers Insurance, en Boston, docenas de plataformas marinas y el hotel Traymore, que apareció en una escena de la película *Atlantic City* en 1981.



abajo sobre las vigas y columnas adyacentes. Este movimiento marcaría el principio de un colapso progresivo y controlado que, promovido por la detonación secuenciada de otras cargas explosivas, fuerza al edificio a inclinarse en la dirección deseada.

El jueves 16 de febrero comenzamos la laboriosa tarea de colocar la dinamita en los agujeros y juntar los conductores de conexión de las cargas para preparar la implosión del sábado. El desmenuzamiento del hormigón implicaba que se precisaría menos dinamita para provocar la caída de las vigas y columnas: la mitad de la carga prevista en un principio. Al propio tiempo, decidimos colocar cargas explosivas en más sitios; por ejemplo, en un piso superior más para hacer que las columnas cayeran más deprisa. En total empleamos unos 55 kilogramos, cantidad mucho menor de la asignada en un comienzo. La blandura del hormigón también nos exigía que el edificio tenía que desplomarse muy rápidamente, si queríamos mantener el control sobre el lugar de caída de los derribos. Aceleramos, pues, la temporización de las detonaciones, fijando en cinco segundos la demolición, la mitad del tiempo requerido para otras construcciones de mayor solidez estructural, es decir, en unos dos segundos menos de la previsión inicial.

De los 400 agujeros programados se pasó a unos 520, repartidos entre la primera, segunda, cuarta y sexta plantas. El número de agujeros taladrados en las columnas variaba entre uno y tres en función de la rapidez de colapso deseada. Para introducir las cargas en los agujeros, se cortaron cartuchos de unos 200 gramos de dinamita en tres trozos como mucho. La dinamita utilizada —una mezcla comercial— era un explosivo moderadamente rápido, que detona a una velocidad cercana a los 5500 metros por segundo, aproximadamente a un tercio de la velocidad de los explosivos más rápidos.

En uno de los extremos de la dinamita se colocó un cebador eléctrico que iniciaba la detonación. Los cebadores pueden promover la explosión instantáneamente o con un retraso predeterminado; en nuestro caso, los retrasos eran de hasta 2,25 segundos (para las columnas más alejadas del corte que dividía el hotel). En parte para confinar la energía del explosivo en el interior de la columna, se colocaron en los agujeros, una a cada lado de la dinamita, pequeñas bolsas de arena barreneras.

Con una vara de madera, se comprimieron firmemente arena y dinamita en el interior de los agujeros, a la manera como se rellena un cañón. Los cables rojos y verdes que tenían que suministrar corriente eléctrica a los detonadores estaban ya correctamente emplazados. El viernes, día anterior a la explosión, unimos, primero, el extremo libre de los cables de cada agujero con los cables de otros agujeros y, después, con los cables de las columnas próximas del mismo piso. Por último, los cables de los pisos superiores se deslizaron hasta la planta baja; a lo largo de su recorrido, se efectuaron las conexiones eléctricas con los cables de las plantas inferiores. Estos circuitos, ocho en total, se conectaron a una máquina detonadora que suministraría la corriente necesaria para iniciar la implosión.

Encendida la explosión, la fragmentación del hormigón de las columnas



puede crear proyectiles, algunos del tamaño de una pelota y capacidad suficiente para herir a las personas y causar daños materiales. Para controlar su vuelo, se envolvió cada columna con una malla que permitía la expansión de la columna y el escape de los gases, a la vez que constituía una barrera protectora contra los grandes fragmentos volantes. Además, las columnas se cubrieron con una lona de polipropileno, que retenía los fragmentos más pequeños de los escombros. Envolvimos toda la planta baja con un recubrimiento del mismo material. Además, en el ala sur del edificio, las puertas, arrancadas de las entradas y salidas, se fijaron a las columnas. Las puertas se utilizaron a modo de protección secundaria para evitar la dispersión de escombros por las ventanas colindantes con la residencia.

Para nuestra fortuna, el sábado, día de la implosión, se presentó con un sol radiante, un golpe de suerte ya que la actividad eléctrica de una tormenta o vientos fuertes nos habrían obligado a retrasar la voladura. Posiblemente, la parte más dura de nuestro trabajo tiene lugar en las horas previas a la demolición, cuando buena parte del sinfín de detalles que conviene tener presente están fuera de nuestro control directo.

Por la mañana, unas 120 personas de la residencia fueron evacuadas o trasladadas a alguna zona del edificio alejada de la explosión. Algunos acudieron a la capilla donde se había instalado un receptor de televisión para ver el colapso.

Para evitar molestias, solemos realizar las implosiones durante el fin de semana o a tempranas horas de la mañana. Con todo, el acontecimiento despierta un enorme interés e, inevitablemente, se arremolina la multitud. Pero no es sólo la gente lo que nos preocupa. A veces tenemos que retrasar la detonación para rescatar un perro perdido, un gato, o, en cierta ocasión, un halcón peregrino que rondaba por el área de la explosión.

Hacia las once, cerca de 5000 transeúntes se habían congregado a un centenar de metros detrás del cinturón policial en la avenida Flagler, que corre próxima al canal y se halla separada del hotel Pennsylvania por un pequeño parque. En la laguna se apostaron docenas de barcas para contemplar el espectáculo.

Hasta 30 segundos antes de que la dinamita detonase, estuvimos controlando los circuitos que cableaban los detonadores para asegurarnos de que permanecían intactos. La máquina detonadora se situó a 90 metros del sureste del edificio, en la avenida Flagler. A las 11 horas y 13 minutos, se realizó un último control radiofónico entre los diversos puestos de policía y la residencia. Un minuto después comenzaba la cuenta atrás. La multitud seguía la secuencia: 10, 9, 8, 7,... Al llegar a cero, Cliff Geyer, el propietario de Cobra, apretó el botón.

La implosión se produjo según lo programado: las cargas estallaron a intervalos de tiempo precisos, comenzando por las de las columnas centrales y siguiendo con las de los extremos norte y sur del edificio. Se oyeron los intensos crujidos producidos con las sucesivas explosiones. La fábrica se balanceó durante casi un segundo. En el techo del ala oeste se abrió una brecha cuando cayeron las columnas, arrastrando consigo las vigas adyacentes. Un segundo después,





UNA VOLADURA HISTORICA, de profundo significado político, fue la del edificio que albergaba el diario vespertino "Madrid", el 24 de marzo de 1973. Se emplearon unos setenta kilos de dinamita.

se pudo ver, antes de que el escenario se cubriese de polvo, que las alas norte y sur se inclinaban hacia el centro y el ala sur golpeaba fuertemente la parte superior del ala norte. Se oyó un sonido atronador cuando las toneladas de escombros se amontonaban en el suelo.

Segundos después, dispersado ya el polvo, los restos del hotel formaban una montaña piramidal. Las primeras miradas se dirigieron hacia el callejón, donde enormes cascotes de hormigón alcanzaron la base de la residencia, y hacia los ladrillos apilados contra las tablas de madera que en su momento se apuntalaron contra la pared de la residencia para prestar una protección adicional. Ni las paredes de la residencia, ni las tuberías de gas enterradas a unos 30 centímetros bajo el suelo del callejón se resintieron.

Filmamos el desplome con cámaras de vídeo situadas en trípodes próximos al edificio. Las imágenes se archivan para el estudio ulterior y examen crítico de la técnica empleada. Se contrató, además, una compañía sismográfica para obtener registros en previsión de posibles reclamaciones de daños contra la propiedad atribuidos a las vibraciones. Poco después de la detonación, Cobra movilizó camiones y maquinaria pesada para retirar los escombros, tarea que duraría algunas semanas; con todo, tiempo inferior y operación más limpia que la de derribar la estructura con una bola de demolición o a mano.

En los meses siguientes al derribo del hotel Pennsylvania tuvimos mucho trabajo. Mark voló a Letonia para demoler una instalación de radar de 21 pisos de altura que había construido la ex Unión Soviética para detectar la llegada de misiles. En un viaje a Hungría demolió varios lanzamisiles. A finales de abril recibimos una llamada de los Servicios Generales de la Administración norteamericana. Nos requerían para derribar el Edificio Alfred P. Murrah en Oklahoma, en cuya fachada habían estallado toneladas de abonos nitrogenados mezclados con gasóleo.

Aquel edificio constituía un reto por sus dificultades técnicas. Lo que quedaba de la fachada frontal podía colapsar en cualquier momento, aunque las secciones traseras se mantenían relativamente intactas. Lo mismo que el hotel Pennsylvania, la fábrica requería un refuerzo estructural para contrarrestar el daño inducido por la explosión. El 23 de mayo, el edificio de oficinas de 9 pisos desapareció entre una nube de polvo, un triste final para uno de los peores actos de terrorismo en la historia de los Estados Unidos.

Ha comenzado a generalizarse el recurso a nuestra técnica de derribo por implosión tanto en el sector público como en el privado. Frente al predominio del empleo de la bola de demolición, nuestros métodos se han convertido en un arte que requiere una profunda comprensión de la manera de debilitar lo estrictamente necesario una estructura para que la gravedad se haga cargo de lo demás.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE LOIZEAUX FAMILY BLAST ITS WAY TO THE TOP. En *Engineering News Record*, vol 189, n.º 6, páginas 24-25, 10 de agosto, 1972.

DEMOLITION OPERATIONS AND EQUIPMENT. J. Mark Loizeaux en *Handbook of Temporary Structures in Construction: Engineering Standards, Designs, Practices and Procedures*. Dirigido por Robert T. Ratay. McGraw-Hill, 1984.

DEMOLITION AGE. Revista mensual de la National Association of Demolition Contractors. Doylestown, Pa.

Biología molecular de la olfacción

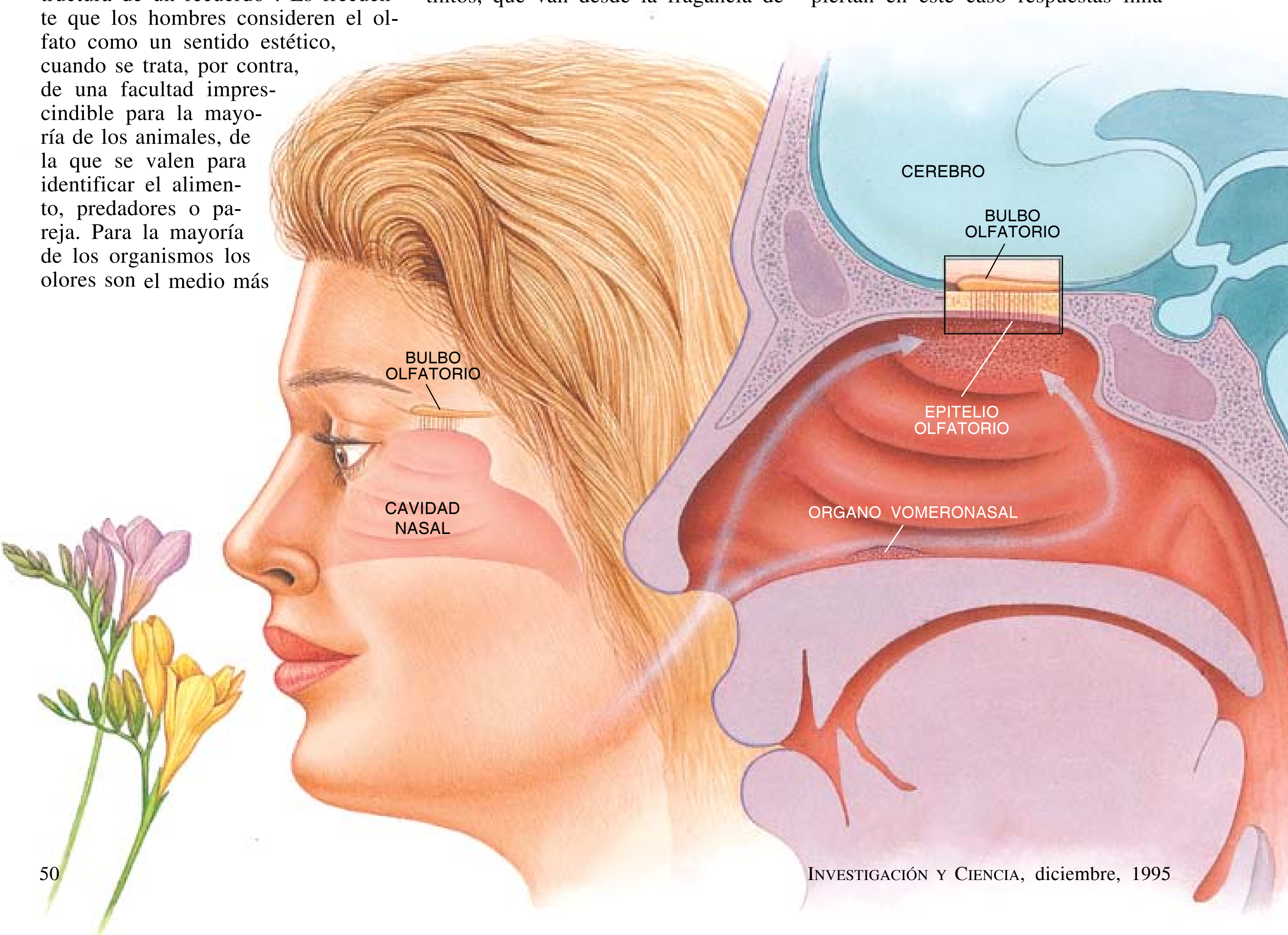
Los mamíferos reconocen miles de olores, algunos de los cuales despiertan respuestas enérgicas. ¿Cuáles son los procesos básicos en virtud de los cuales cerebro y nariz perciben los olores?

Richard Axel

El olfato es quizás el más evocador de todos nuestros sentidos. De su poder nos habla Marcel Proust en su famosa novela *En busca del tiempo perdido*, donde la nostalgia del sabor y la fragancia de una magdalena le dan pie a una descripción del gusto y del olfato, sentidos que son "los más frágiles, y a la par los más duraderos, los más alejados de lo sustancial, los más persistentes... que llevan, en la gota casi impalpable de su esencia, la vasta estructura de un recuerdo". Es frecuente que los hombres consideren el olfato como un sentido estético, cuando se trata, por contra, de una facultad imprescindible para la mayoría de los animales, de la que se valen para identificar el alimento, predadores o pareja. Para la mayoría de los organismos los olores son el medio más eficaz de que disponen para comunicarse con otros e interpretar el entorno. El comportamiento innato en respuesta a los olores es esencial para su supervivencia, resultado verosímil de una percepción inconsciente.

Cada individuo exhala un olor de características particulares genéticamente determinado. Esta identidad olfatoria se halla asociada a una notable capacidad para distinguir entre múltiples olores. El hombre, por ejemplo, puede reconocer unos 10.000 distintos, que van desde la fragancia de unas flores recién cortadas hasta el hedor nauseabundo de la mofeta. Muchos animales superan al hombre en sensibilidad para los olores: el sabueso, por ejemplo, posee una capacidad legendaria para discernir el más leve rastro de una sustancia olorosa.

El amplio espectro de olores que el hombre detecta de manera consciente despierta respuestas cognitivas y emocionales variadísimas. Pero el hombre reconoce también otros olores sin tener conciencia de ellos. ¿Despiertan en este caso respuestas inna-



tas de comportamiento? ¿De qué modo la percepción de olores específicos evoca pensamientos, recuerdos y comportamientos asociados? El olfato puede ser algo fundamental para una especie o estético para otra, pero todos los organismos han desarrollado en el curso de la evolución mecanismos para reconocer diversos olores y transmitir esta información desde la nariz al cerebro, donde debe descifrarse para ofrecer una representación interna del mundo exterior.

En nuestra condición de biólogos moleculares dedicados al estudio de la percepción, mis colaboradores y yo hemos trasplantado estas cuestiones al dominio de los genes y las proteínas. Nos hemos basado en estas moléculas para examinar el modo en que los animales reconocen una amplia gama de olores y la forma en que el reconocimiento en la cavidad nasal se transfiere al mapa de cualidades olfatorias del cerebro.

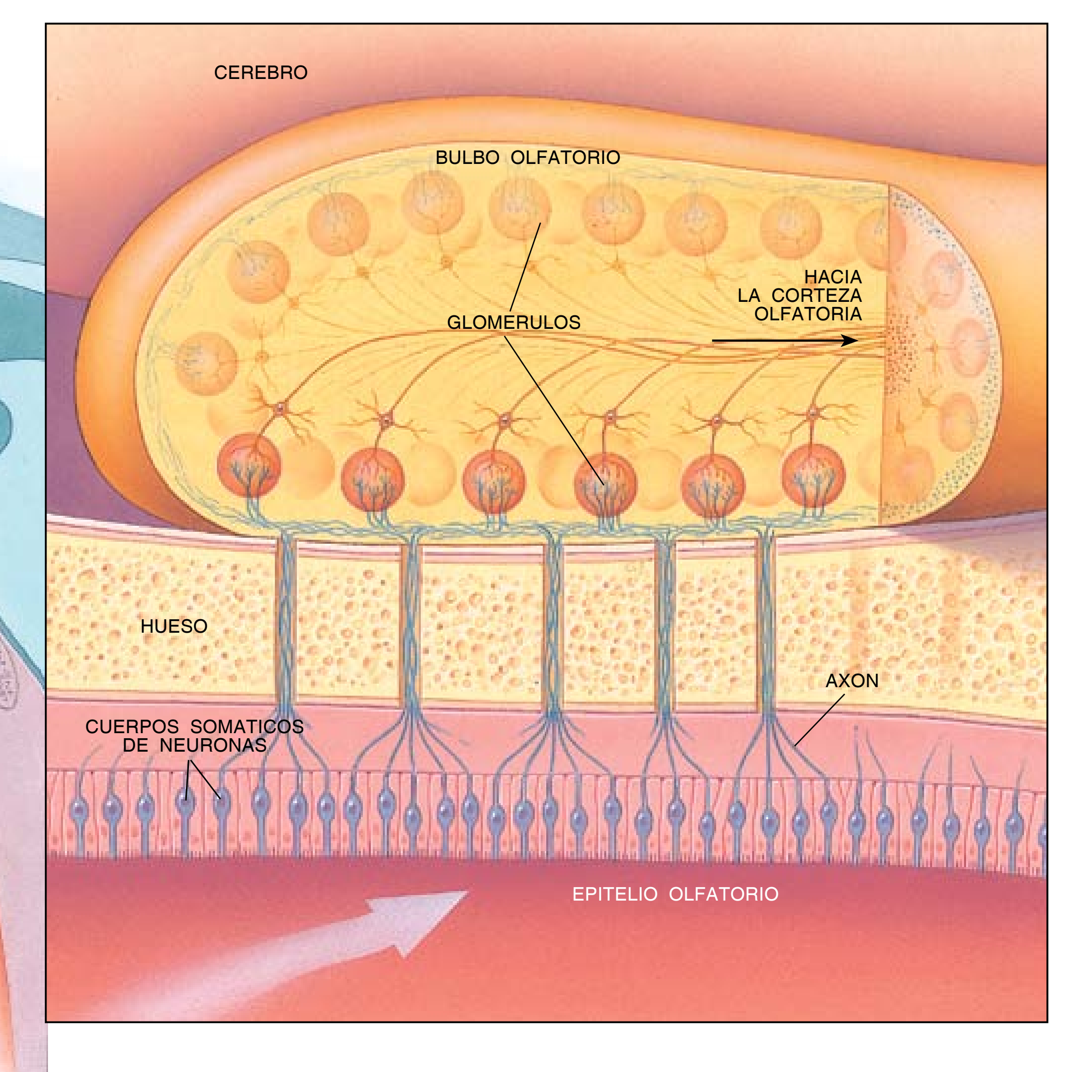
La anatomía básica de la nariz y del sistema del olfato se conoce desde hace algún tiempo. En los mamíferos, la detección de los olores ocurre en el epitelio olfatorio, una región de la zona posterior de la nariz. El análisis mediante microscopía electrónica de barrido revela dos tipos interesantes de células. En esta región, millones de neuronas, las células transductoras de señales de los sistemas sensoriales, proporcionan una conexión física directa entre el mundo exterior y el cerebro. Desde un extremo de cada neurona, los sensores piliformes llamados cilios se proyectan hacia el exterior y se hallan en contacto directo con el aire. En el otro extremo de la célula, una fibra denominada axón se dirige hacia el cerebro. Además, el epitelio olfatorio contiene células generadoras de neuronas olfatorias, que mantienen esa actividad a lo largo de toda la vida. A diferencia de la mayoría de las neuronas, que mueren y no se reemplazan, las neuronas sensoriales olfatorias se regeneran sin cesar.

Cuando un animal inhala moléculas olorosas, éstas se unen a las proteínas receptoras, polipéptidos especializados y asociados a los cilios. La unión de los olores a estos receptores emite una señal eléctrica que se propaga, a través de los axones, hasta el bulbo olfatorio, situado en la parte frontal del cerebro, detrás mismo de la nariz. El bulbo olfatorio es la primera estación transmisora de señales en su camino al cerebro, donde ha de elaborarse, o procesarse, la información olfatoria; el bulbo pone en conexión la mucosa nasal con la corteza olfatoria, que entonces se proyecta hacia los centros sensoriales superiores de la corteza cerebral, área ésta del cerebro que controla el pensamiento y la conducta.

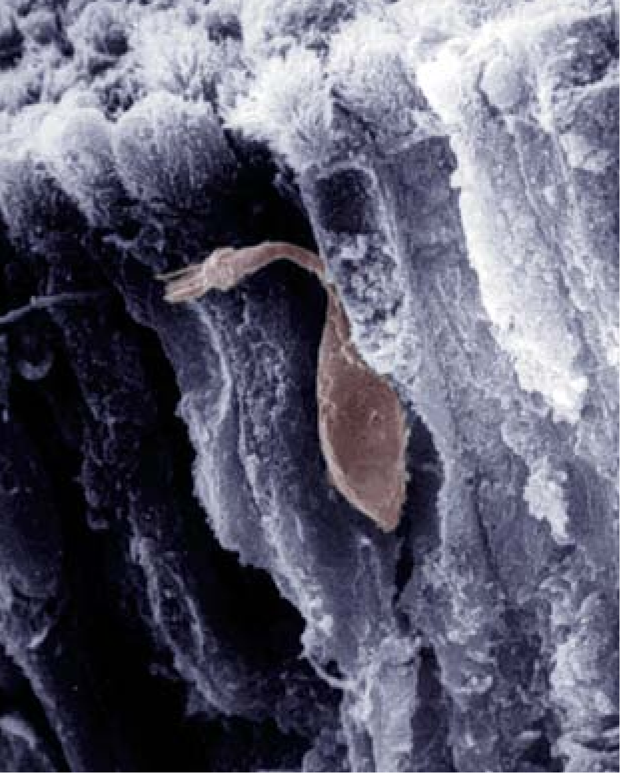
RICHARD AXEL enseña bioquímica y biofísica en la Universidad de Columbia, labor que compagina con la de investigador en el Instituto Médico Howard Hughes.

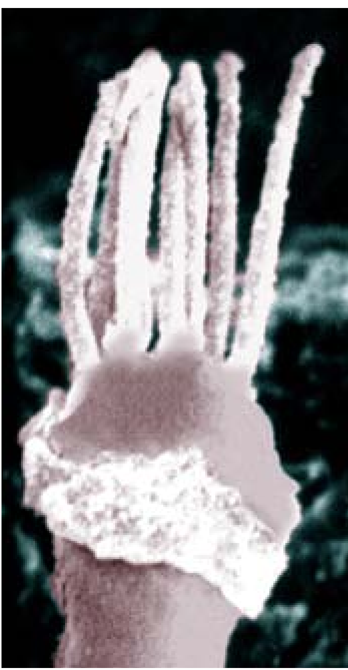
Bajo tal organización subyace una lógica compleja de la que el cerebro hace uso para identificar el olor percibido en la mucosa nasal, distinguirlo de otros e instar una respuesta emotiva o conductual. Para analizar la organización del cerebro, mi grupo comenzó por el lugar donde el olor se percibe como algo físico: en las proteínas receptoras de los olores.

Con Linda Buck opté por dejar de lado el examen directo de los receptores olfatorios para abordar los genes codificadores de dichas proteínas. Los genes proporcionan el molde de las proteínas, las moléculas que desempeñan las funciones de las células. Una vez aislados los genes



1. LA FRAGANCIA DE UNA FLOR se traduce, inhalada, en una sonrisa. La explicación se halla en el sistema olfatorio. La mucosa nasal percibe un olor en su zona superior, en el epitelio olfatorio. Dentro de esta área, las moléculas odoríferas se unen a receptores ubicados en proyecciones piliformes, o cilios. Los receptores forman parte de neuronas que pueden prolongarse tres o cuatro centímetros desde el fondo de las fosas nasales hasta el cerebro. Los axones se extienden desde el soma celular de la neurona hasta el bulbo olfatorio del cerebro. En el bulbo, los axones convergen en los glomérulos; desde allí, las señales se transmiten a otras regiones del cerebro, incluida la corteza olfatoria. El órgano vomeronasal es parte de un sistema sensorial distinto que controla respuestas innatas en algunos mamíferos. Se desconoce cuál sea su función en el comportamiento humano.





2. NEURONA SENSORIAL del epitelio olfatorio (*izquierda*), rodeada de células accesorias y asentada sobre una capa de células que generan nuevas neuronas olfativas durante la vida del organismo. Los cilios emergen del extremo de una neurona y aparecen en la fotografía (*arriba*) a 17.500 aumentos; los receptores situados en los cilios captan y traban las moléculas odoríferas. Tomaron estas imágenes R. M. Costanzo y E. E. Morrison.

que cifran una proteína, podemos aplicarlos al estudio de la estructura y la función de los receptores olfatorios.

Además, el manejo de los genes en la investigación de proteínas resulta ser un método más sencillo y rápido que el estudio directo de los receptores. Mediante manipulación artificial de los genes, podemos alterar los receptores olfatorios y así comprender de qué modo las moléculas permiten a la mucosa nasal y al cerebro percibir los olores. Una vez desentrañado el funcionamiento de los receptores, podremos abordar la elaboración de la información olfatoria que nos capacita para distinguir un olor de otro.

Recurrimos a la técnica de clonaje para aislar los genes que determinan los receptores olfatorios. La familia de genes de receptores en cuestión presentaban varias propiedades que los convertían en idóneos para las funciones de reconocimiento de olores. En primer lugar, los genes cifraban proteínas que encajan dentro de un grupo conocido de receptores cuyas moléculas atraviesan la membrana de la neurona siete veces; estos receptores activan proteínas G, polipéptidos de señalización. En las primeras investigaciones realizadas en este campo por Doron Lancet y Randall R. Reed, de la Facultad de Medicina Johns Hopkins, ya quedó claro que los receptores olfatorios también utilizan proteínas G para iniciar la cascada de fenómenos que dan como resultado la transmisión de un impulso eléctrico a lo largo del axón olfatorio.

En segundo lugar, los genes que cifraban las proteínas del receptor de olores se mostraban activos sólo en las neuronas olfatorias. Aunque casi todas las células del organismo llevan una copia de cada gen, muchos genes se expresan exclusivamente en células especializadas.

Por último, la existencia de una amplia gama de genes de receptores de olores parecía reflejar la gama, no menos sorprendente, de olores detectables. La técnica de hibridación molecular nos permitió determinar el número de estos genes en el cromosoma. Pudimos emplear ese método porque los genes están constituidos por dos hebras de ADN que se asocian para dar lugar a una doble hélice. Y así, nos es dado marcar una de las cadenas de suerte tal que, cuando encuentra su hebra complementaria en el cromosoma, localizamos el gen y establecemos el número y posición, lo que vale para un gen o para una familia de genes.

En particular, al examinar ADN de distintos mamíferos, hombre incluido, determinamos que alrededor de 1000 genes cifraban 1000 receptores olfatorios diferentes. (Cada tipo de receptor se expresa en millares de neuronas.) Dado que el ADN de los mamíferos contiene probablemente alrededor de 100.000 genes, el hallazgo indica que el 1 por ciento de todos nuestros genes está dedicado a la detección de olores, siendo por tanto la familia de tales genes la mayor de todas las identificadas hasta la fecha en los mamíferos. La cantidad enorme de información genética dedicada al olor tal vez refleje la importancia de este sistema sensorial para la supervivencia y reproducción de los mamíferos.

La gran familia de receptores de olores contrasta llamativamente con el repertorio, mucho más restringido, de receptores visuales. El hombre, por ejemplo, distingue entre varios centenares de matices de color mediante tres tipos de receptores de la retina tan sólo. Estos fotorreceptores detectan la luz en regiones diferentes, aunque solapadas, del espectro visible, de suerte que el cerebro puede comparar el impulso que le llega de los tres tipos de detectores para identificar un color. Según nuestros datos, un pequeño número de receptores olfatorios haría imposible el reconocimiento y discriminación de la amplia gama de olores que perciben los mamíferos.

Los mamíferos pueden detectar al menos 10.000 olores. Lo que significa que cada uno de sus 1000 receptores debe responder a varias moléculas de la sustancia odorífera, y cada olor ha de unirse a varios receptores. Se admite que los receptores que responden a partes diferentes de una estructura odorífera divergen, que un olor está determinado por varios grupos funcionales de su molécula y que cada uno de ellos activa un receptor característico. Por ejemplo, las moléculas responsables de la fragancia del jazmín y del olor del pan recién salido del horno dependen de grupos estructurales diversos; y cada grupo activa un conjunto distinto de receptores. Para distinguir el olor, el cerebro debe entonces determinar la combinación precisa de receptores que un determinado olor activa.

¿Cómo identifica el cerebro, entre los 1000 tipos de receptores, el que se ha activado? Examinemos varias posibilidades. Si cada neurona tiene los 1000 tipos distintos, debería enviar una señal al cerebro siempre que perciba un olor. Todos los receptores implicados necesitarían contribuir con un componente distintivo a la señal

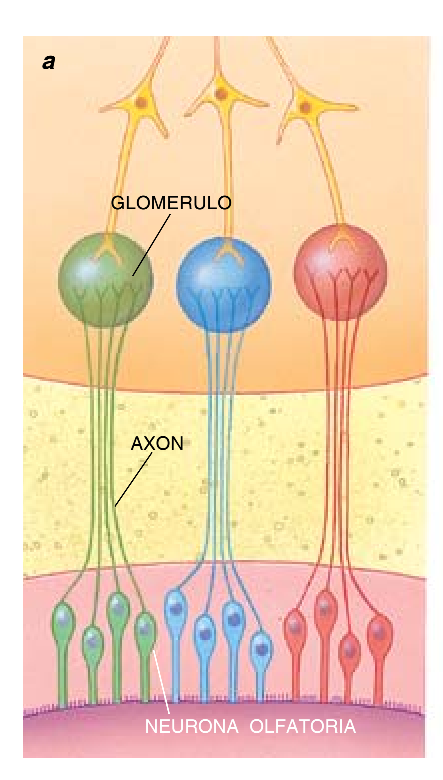
de la neurona; el cerebro podría entonces comparar estas señales y descifrar la identidad del olor. De forma alternativa, si cada neurona albergara sólo un tipo de receptor, el problema de saber qué receptor se había activado por un olor dado se reduciría al problema de descubrir la neurona excitada en cuestión. Este modelo simplificaría enormemente la tarea del cerebro a la hora de establecer cuál de entre los numerosos receptores es el activado.

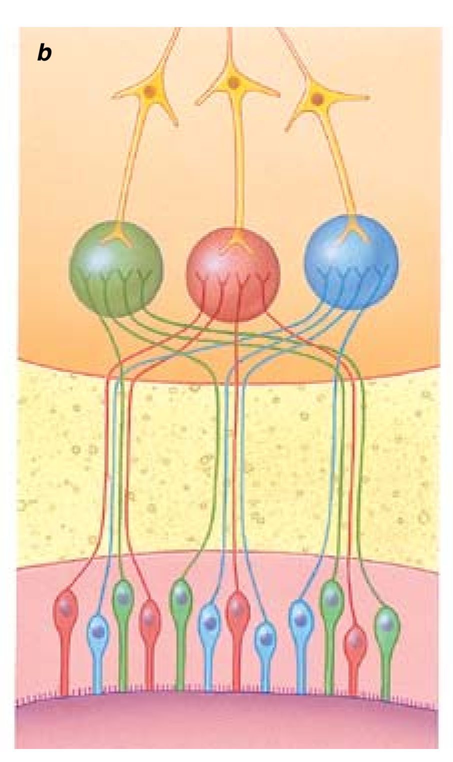
Ante esas dos vías, para averiguar la que realmente opera en la detección de los olores, volvimos a concentrarnos en la expresión de los genes de las neuronas olfatorias. En esta ocasión nos apoyamos en la técnica de hibridación molecular; conté con la colaboración de Andrew Chess, John Ngai y Robert Vassar. Observamos que, en los mamíferos, cada uno de los 1000 receptores se expresa en un 0,1 por ciento de las neuronas. En los peces, que tienen 100 receptores olfatorios, cada receptor puede encontrarse en un 1 por ciento de las neuronas. Estos resultados sugieren que, en ambos casos, cada neurona puede expresar sólo un gen de receptor. Más aún, en experimentos recientes y con la ayuda de Caherine Dulac, nos servimos de la reacción en cadena de la polimerasa, que multiplica pequeñas porciones de ADN, para clonar los genes de receptores de olor que expresan neuronas olfatorias individuales. Cuando tales genes de receptores se aíslan de una misma neurona, todos parecen ser idénticos. Sin embargo, cuando ese procedimiento se aplica a un conjunto de neuronas, se obtienen genes correspondientes a centenares de receptores diferentes. Tomados estos hallazgos en su conjunto nos revelan que cada neurona sensorial expresa sólo un receptor y es, por tanto, funcionalmente distinta.

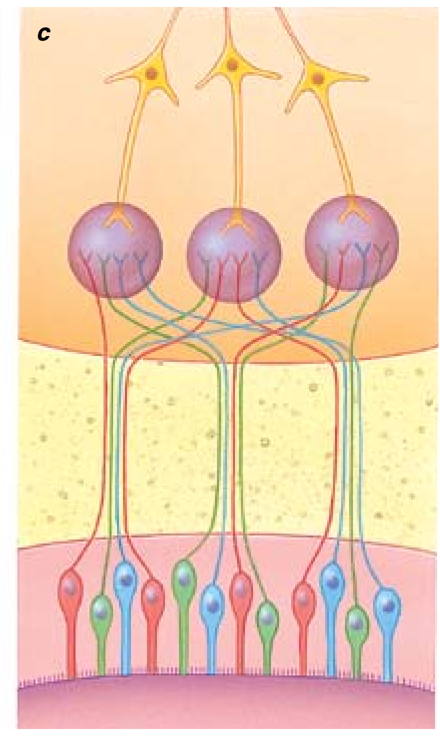
Esta simple correlación entre receptores y neuronas no explica la elaboración mucho más compleja que el cerebro tiene que acometer para discernir un olor. ¿Cómo determina el cerebro qué neuronas olfatorias se han activado? En otros sistemas sensoriales, el cerebro cuenta con patrones espaciales de neuronas acotados, así como con la posición de las dianas últimas de las células nerviosas, para definir la cualidad de una sensación. Tal vez aplique el cerebro una lógica semejante al sentido del olfato.

En teoría, hay varias posibilidades de organizar las neuronas y axones en la mucosa nasal y el cerebro. De acuerdo con cierto modelo, las neuronas que portan determinado tipo de receptor se alojarían en el epitelio olfatorio. La activación de las neuronas en lugares específicos definiría entonces la cualidad de un olor. Según otra hipótesis, las neuronas portadoras de un tipo de receptor podrían estar distribuidas al azar por la superficie del epitelio, pero sus axones podrían convergir en ciertas áreas del cerebro. En este caso, la exposición a un determinado olor generaría en el cerebro patrones de actividad definidos. En un tercer modelo, tanto las neuronas como sus proyecciones hacia el cerebro podrían disponerse aleatoriamente. Para interpretar un olor, el cerebro tendría que hacer uso de un complicado algoritmo que descifrara las señales llegadas al azar.

Algunas neuronas de la nariz se agrupan espacialmente en razón de los olores que perciben. La mayoría de los mamíferos, hombre incluido, poseen un "olfato sexual", u órgano vomeronasal, que está físicamente separado del epitelio olfatorio principal. El órgano vomeronasal detecta las feromonas que controlan comportamientos

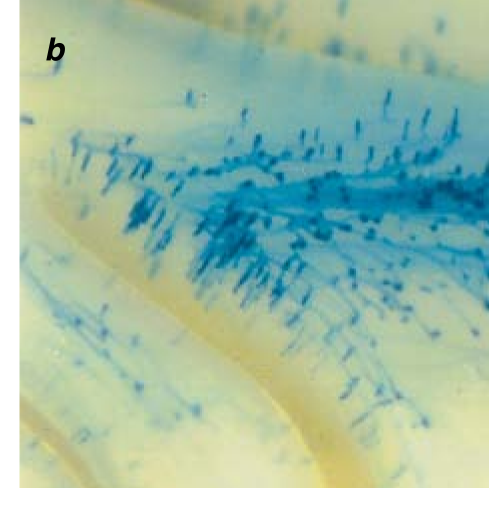






3. LOS PATRONES NEURONALES facilitan la interpretación cerebral de una fragancia. Caben diversas posibilidades. Según una hipótesis (*a*), las neuronas que contienen un tipo particular de receptor (*indicado aquí por el color*) se alojarían en el epitelio olfatorio; de este modo, el cerebro podría identificar un olor determinando qué área del epitelio olfatorio se activó por la fragancia en cuestión. De acuerdo con un segundo modelo (*b*), las neuronas podrían hallarse distribuidas aleatoriamente por todo el epitelio y sus axones convergir en los glomérulos, regiones particulares del bulbo olfatorio. Un olor se identificaría así a través de un patrón de actividad característico en los glomérulos. Por último (*c*), neuronas y axones se distribuirían al azar.





4. NEURONAS AZULES revelan el camino que sigue la información sensorial desde el epitelio olfatorio de las fosas nasales hasta el bulbo olfatorio del cerebro (*a*). Modificando los genes de los receptores de olores en el ratón, hemos con-

sociales y relacionados con la reproducción. En los roedores, la actividad sexual de los machos, por ejemplo, constituye una respuesta innata, que se insta con la percepción, en el órgano vomeronasal, de las feromonas segregadas por las hembras. Si se destruyen las neuronas del sistema vomeronasal en los ratones vírgenes, éstos pueden seguir percibiendo el olor con su sistema olfatorio principal, pero tamaña lesión hace imposible el apareamiento.

Además, como Dulac y yo hemos demostrado al estudiar los genes que cifran los receptores de feromonas, la secuencia aminoacídica de los receptores del órgano vomeronasal difiere por completo de la secuencia de los receptores del epitelio olfatorio principal. Estas diferencias sugieren que los dos sistemas pueden haber evolucionado independientemente uno de otro.

Por último, las neuronas del epitelio olfatorio principal proyectan sus axones hacia un área del cerebro distinta de la región a la que las neuronas del órgano vomeronasal envían sus impulsos nerviosos. Por consiguiente, las señales de estas dos regiones del órgano del olfato producen respuestas conductuales muy dispares. Las neuronas del órgano vomeronasal se saltan los centros cognitivos del cerebro y envían señales directamente hacia las áreas que controlan respuestas innatas emocionales y de comportamiento. En cambio, el epitelio principal envía señales a los centros superiores de la corteza olfatoria que evocan respuestas más mesuradas.

La separación anatómica de estos dos sistemas olfatorios, de función distinta, nos movió a examinar si las neuronas incluidas en el mismo sistema olfatorio principal sacaban también partido de la segregación espacial para definir la cualidad de un olor. Parte de esta organización espacial se conoce perfectamente: cada neurona proyecta al cerebro un axón sin ramificar. A la salida del epitelio olfatorio los axones emergentes se reúnen, y con 10 millones de ellos se forma el nervio olfatorio que penetra en el cerebro. Una vez en éste, grupos de 10.000 axones convergen en los glomérulos del bulbo olfatorio. En los glomérulos, los axones entablan comunicación con las neuronas que se proyectan hacia centros superiores del cerebro.

Experimentos realizados por Vassar y Buck ponen de manifiesto que el epitelio olfatorio se divide en cuatro anchas regiones según los tipos de receptores observados en cada zona. Pese a tan endeble organización, el rasgo más importante de esta disposición reside en la distribución aleatoria de los receptores dentro de cada región. Incapaces de hallar un patrón espacial más preciso de neuronas en el epitelio, buscamos otra pauta en las proyecciones intracerebrales de los axones.

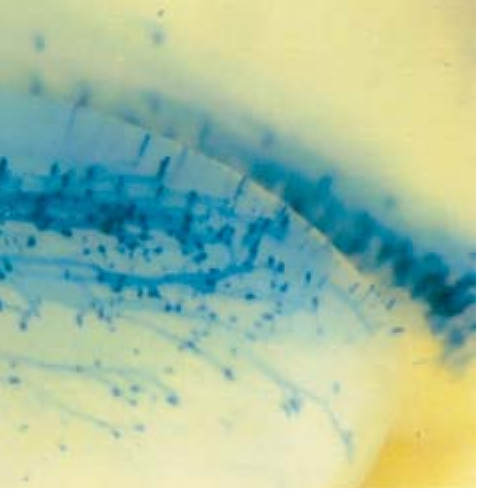


5. MICROGRAFIA del bulbo olfatorio de una rata visto en corte transversal. Las dos manchas blancas indican el lugar donde convergen los axones portadores de un receptor específico. Puesto que cada axón se proyecta hacia una zona característica del bulbo olfatorio, éste ofrece un mapa bidimensional de la cualidad del olor, que la corteza olfatoria utiliza para descifrarlo.

Si es que se emplea ese patrón, las neuronas que expresen un determinado receptor, aunque distribuidas al azar por una región del epitelio, deben proyectar sus axones hacia un pequeño número de glomérulos. Son varios los datos que apoyan este modelo.

Primero, el número de glomérulos es aproximadamente el mismo que el de tipos de receptores; como cada neurona expresa sólo un receptor, cada tipo de neurona puede conectar con un glomérulo característico. Segundo, como han revelado ciertos experimentos fisiológicos, olores diferentes dan lugar a patrones distintos de actividad en el cerebro. En este sentido, Gordon M. Shepherd y sus colaboradores comprobaron que la exposición de roedores recién nacidos a la leche de sus madres condujo a una actividad en regiones restringidas del bulbo olfatorio. Asimismo, John S. Kauer ha empleado colorantes sensibles a cambios de voltaje para demostrar que el patrón de actividad en el bulbo olfatorio difiere con los olores. Más aún, los estudios electrofisiológicos de Kensaku Mori han demostrado de una manera directa que olores diferentes activan glomérulos también diferentes.

Mis colaboradores y yo hemos diseñado dos esquemas que nos permitan abordar con un enfoque molecular el estudio de la segregación espacial de neuronas y axones. En primer lugar, Vassar, Steve K. Chao y Leslie B. Vosshall, que trabajan en mi laboratorio, han modificado la técnica de hibridación molecular usada en trabajos previos para que pudiéramos examinar ARN correspondiente al receptor en la punta de los axo-





seguido teñir de un color azul obscuro las neuronas portadoras de un determinado tipo de receptor, y por tanto sensibles a un número limitado de olores. Neuronas dispersas al azar por el epitelio olfatorio (*b*) convergen en un punto del bulbo (*c*).

nes, donde convergen en el bulbo olfatorio. Estos experimentos, así como otros de Buck, indicaban que las neuronas que expresan un determinado receptor se proyectan hacia uno o, a lo más, hacia unos pocos glomérulos entre los millares que existen en el bulbo olfatorio. Además, las posiciones de los glomérulos son fijas, con lo que se asegura que un determinado olor producirá el mismo patrón de actividad en el cerebro de todos los individuos pertenecientes a una misma especie.

Seguí un enfoque distinto con Peter Mombaerts y Fan Wang. Alteramos genéticamente ratones, produciendo animales en los que las neuronas activadoras de un receptor específico se teñían de azul. Nuestro procedimiento comporta el aislamiento de un gen para uno de los receptores de un olor, que se une después a un segundo gen, marcador. Este gen marcador, que se tornará activo siempre que el gen del receptor del olor se exprese, dispara una reacción química que hace que se vuelvan azules la neurona y su axón. El gen modificado se inserta en células que luego se introducen en un embrión de ratón. En los ratones resultantes, las neuronas que fabrican ese receptor aparecen azuladas, dejándonos ver dónde se alojan.

Tras examinar los epitelios olfatorios y los cerebros de ratones, comprobamos que una de cada 1000 neuronas se había tornado azul. Y lo que es aún más importante, podía seguirse la pista de los distintos axones que se extienden desde las neuronas hasta el interior del cerebro. Los axones azules se proyectaban hacia sólo dos de los 2000 glomérulos del bulbo olfatorio. Estos experimentos proporcionan datos convincentes de que las neuronas que activan un tipo de receptor —y por tanto responden a un número limitado de olores— proyectan sus axones hacia un número restringido de glomérulos cerebrales. Como los glomérulos del bulbo olfatorio presentan una sensibilidad diferencial a olores específicos, y las posiciones de los distintos glomérulos están definidos topológicamente, el bulbo olfatorio proporciona un mapa bidimensional donde se muestra qué receptores se han activado en la mucosa olfatoria. Pensamos que un determinado olor activará una combinación característica de glomérulos en el bulbo olfatorio; los glomérulos emitirán señales que después se transmitirán a la corteza olfatoria, donde deberán elaborarse para distinguir entre los diversos olores.

De acuerdo con este modelo de olfacción, los mamíferos podrían en teoría percibir un número elevadísimo de olores. Puesto que los olores interaccionan con receptores múltiples, y no con receptores individuales, las posibles combinaciones exceden en varios órdenes de magnitud el número de olores que detectan los animales. Por consiguiente, al igual que sucede con los otros sentidos, el sistema del olfato ofrece al individuo una limitada representación del entorno. Es muy posible que los animales discriminen sólo entre aquellos olores que tengan una repercusión biológica importante para su supervivencia o reproducción.

Esta explicación de la percepción olfatoria comparte rasgos básicos con la percepción en otros sistemas sensoriales. Fijémonos en la visión. El cerebro analiza una imagen interpretando sus componentes individuales: forma, ubicación, movimiento y color. La unidad de una imagen se alcanza mediante la reconstrucción de señales en los centros visuales de la corteza superior. Por comparación, el cerebro analiza un olor realizando una disección de todos los rasgos que lo integran. El olor se reconstruye entonces por la corteza olfatoria.

Pero, ¿cómo descifra la corteza olfatoria, que recibe señales del bulbo olfatorio, el mapa que éste le ofrece? Se trata de una cuestión central de la neurobiología. También una de las más escurridizas. Parece probable que algún tipo de separación espacial, semejante al descrito en el bulbo olfatorio aunque más complejo, se siga manteniendo con la proyección de las señales a la corteza. Esta disposición, sin embargo, no hace más que trasladar el problema de la interpretación de la información espacial hacia un nivel superior al del bulbo olfatorio, esto es, a la corteza. Pero, ¿cómo ejecuta ésta las respuestas emocionales o conductuales que los olores suelen provocar? ¿Hasta qué punto el reconocimiento de olores es consciente o inconsciente en el hombre? Apenas si hemos comenzado a explorar la lógica de la olfacción y el mecanismo en virtud del cual una fragancia evoca en nosotros la “vasta estructura de un recuerdo”.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

A NOVEL MULTIGENE FAMILY MAY ENCODE ODORANT RECEPTORS: A MOLECULAR BASIS FOR ODOR RECEPTION. Linda Buck y Richard Axel en *Cell*, vol. 65, n.º 2. págs 205-209; febrero de 1992.

DISCRIMINATION OF MOLECULAR SIGNALS BY THE OLFACTORY RECEPTOR NEURON. G. M. Shepherd en *Neuron*, vol. 13, n.º 4, págs. 771-790; octubre de 1994.

MOLECULAR RECOGNITION AND OLFACTORY PROCESSING IN THE MAMMALIAN OLFACTORY SYSTEM. K. Mori e Y. Yoshihara en *Progress in Neurobiology*, vol. 45, n.º 6, págs. 585-619; abril de 1995.

Cuadernos de laboratorio de Thomas Edison

Pruebas visibles y textuales de su imaginación, los cuadernos de Edison constituían los talismanes inéditos de la carrera del inventor

Neil Baldwin

Desde sus veinte años, Thomas Alva Edison (1847-1931) se comprometió decididamente a "mantener un registro completo" de su carrera. De que cumplió su palabra dan fe los más de 3500 cuadernos que se guardan en el Archivo Histórico Nacional de Edison en West Orange.

Se trata de escritos fascinantes que trascienden la génesis de las 100 patentes concedidas a Edison y sus colegas sobre múltiples componentes de nuestra cultura material: la bombilla eléctrica, el fonógrafo o la cámara de filmación, entre los más conocidos. Pero la mayoría de sus ideas jamás salieron a la luz. Escribía, literalmente, para descubrir lo que pensaba.

En el siglo XIX, la inventiva se consideraba un arte. El camino que Edison seguía desde el bosquejo hasta el objeto concreto se caracterizaba por una imaginación de altísima calidad. Como compensando la progresiva pérdida de audición que sufría desde la infancia, era un pensador visual consumado y un magnífico dibujante. Las ideas le fluían veloces, seguras e implacables. Sus cuadernos revelan una sensibilidad de múltiples facetas reñida con el mito que nos lo presenta como un rudo patán incapaz de expresarse. Nos sorprenden un industrioso práctico exponiendo sus ideas; una mente compleja, capaz de intuir una máquina totalmente acabada desde el primer instante; un capitalista consumista; un octogenario que urgía nuevas posibilidades técnicas, incluso cuando apenas podía alzar la cabeza de la almohada de su lecho de enfermo.

Contemplados en su magnitud enciclopédica y tosca, los cuadernos de laboratorio de Edison nos recuerdan cómo se formaron las raíces de la investigación y el desarrollo modernos, en el cerebro de un hombre resuelto.



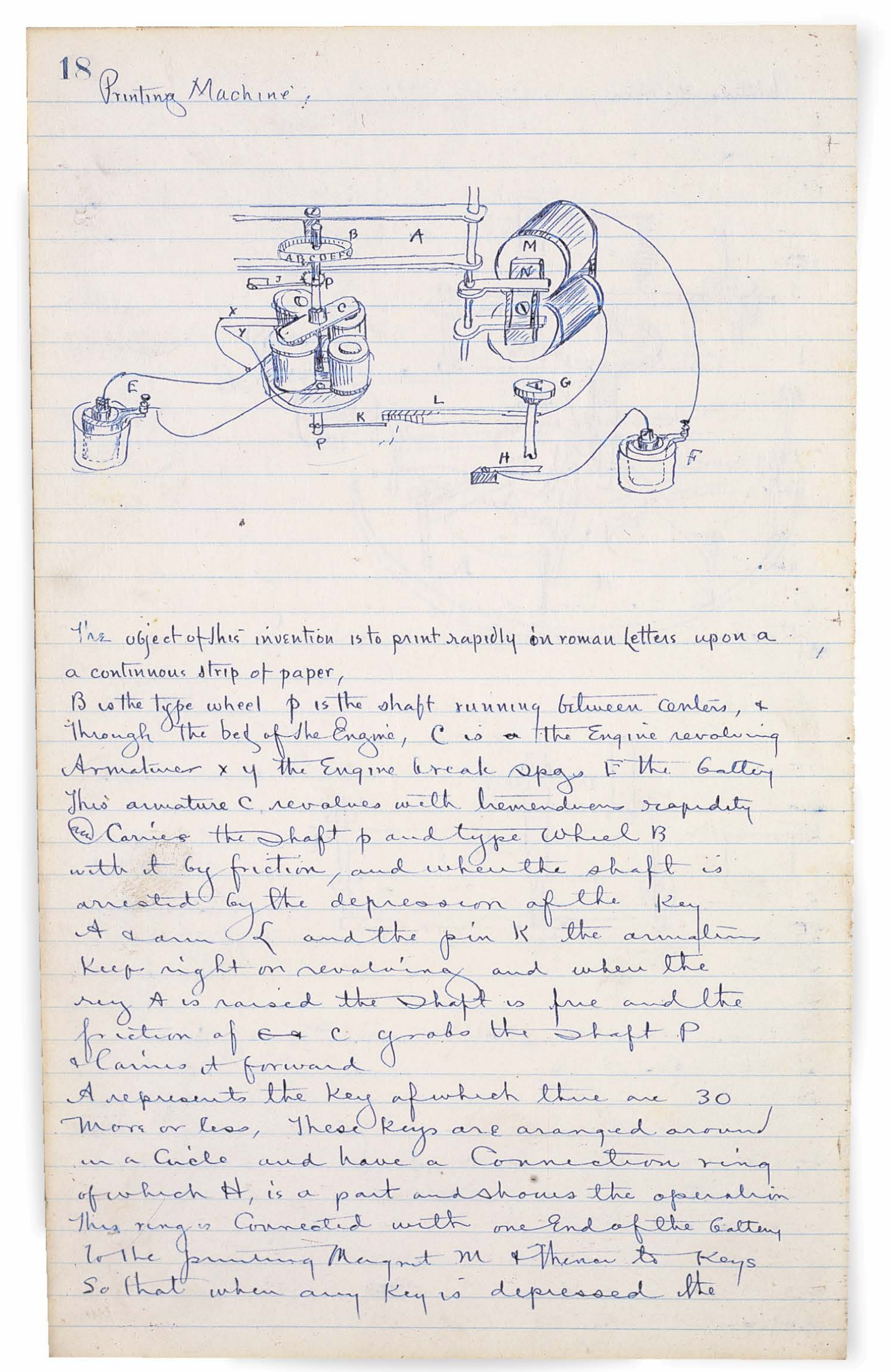
1. El inventor en su sala privada del segundo piso del edificio del laboratorio principal en West Orange (Nueva Jersey), a comienzos de siglo.



2. Era célebre su capacidad para descabezar un sueño de minutos dondequiera que fuese necesario; en este caso, sobre una mesa de trabajo del laboratorio.

Impresora,
27 de enero de 1872

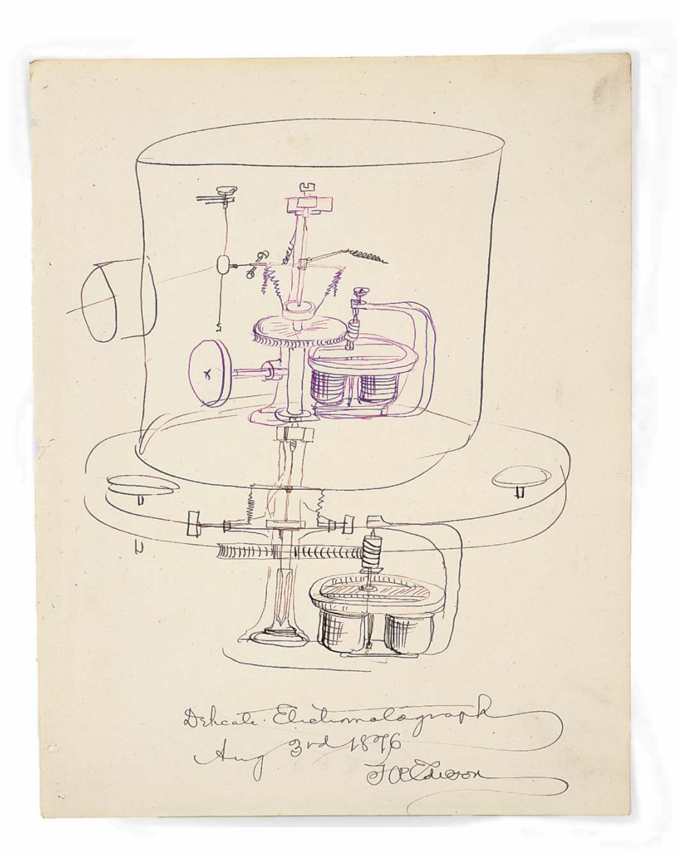
Desde sus años adolescentes de telegrafista itinerante, asignado al turno de noche en pequeñas estaciones de ferrocarril de su Medio Oeste nativo, a Edison le obsesionaba la mejora de la técnica de las comunicaciones. Como en tantos inventos suyos, los componentes de una máquina engendraban elementos de la siguiente, siendo el telégrafo un importante punto de arranque para muchas de sus ideas. La máquina de escribir prototipo que se muestra se desarrolló de modo natural a partir del trabajo anterior del inventor sobre la telegrafía de impresión, y es un excelente ejemplo de la precisa metodología de Edison: definir el "objeto de la invención en la primera línea", delimitando así el territorio antes de pasar a identificar el encadenamiento de los mecanismos internos con un detalle exhaustivo y alfabético, con el propósito de hacer de la solicitud de patente un documento sin fisuras e impenetrable a las imitaciones.


18 Printing Machine;

The object of this invention is to print rapidly in roman letters upon a
a continuous strip of paper,
B is the type wheel p is the shaft running between centers, &
through the bed of the Engine, C is the Engine revolving
Armature x y the Engine break spgs E the battery
This armature C revolves with tremendous rapidity
& Carries the shaft p and type wheel B
with it by friction, and when the shaft is
arrested by the depression of the key
A & arm L and the pin K the armature
Keep right on revolving and when the
key A is raised the shaft is free and the
friction of C grabs the shaft P
& Carries it forward
A represents the key of which there are 30
More or less, These keys are aranged around
in a Circle and have a Connection ring
of which H, is a part and shows the operation
This ring is Connected with one End of the battery
to the printing Magnet M & thence to Keys
So that when any Key is depressed the

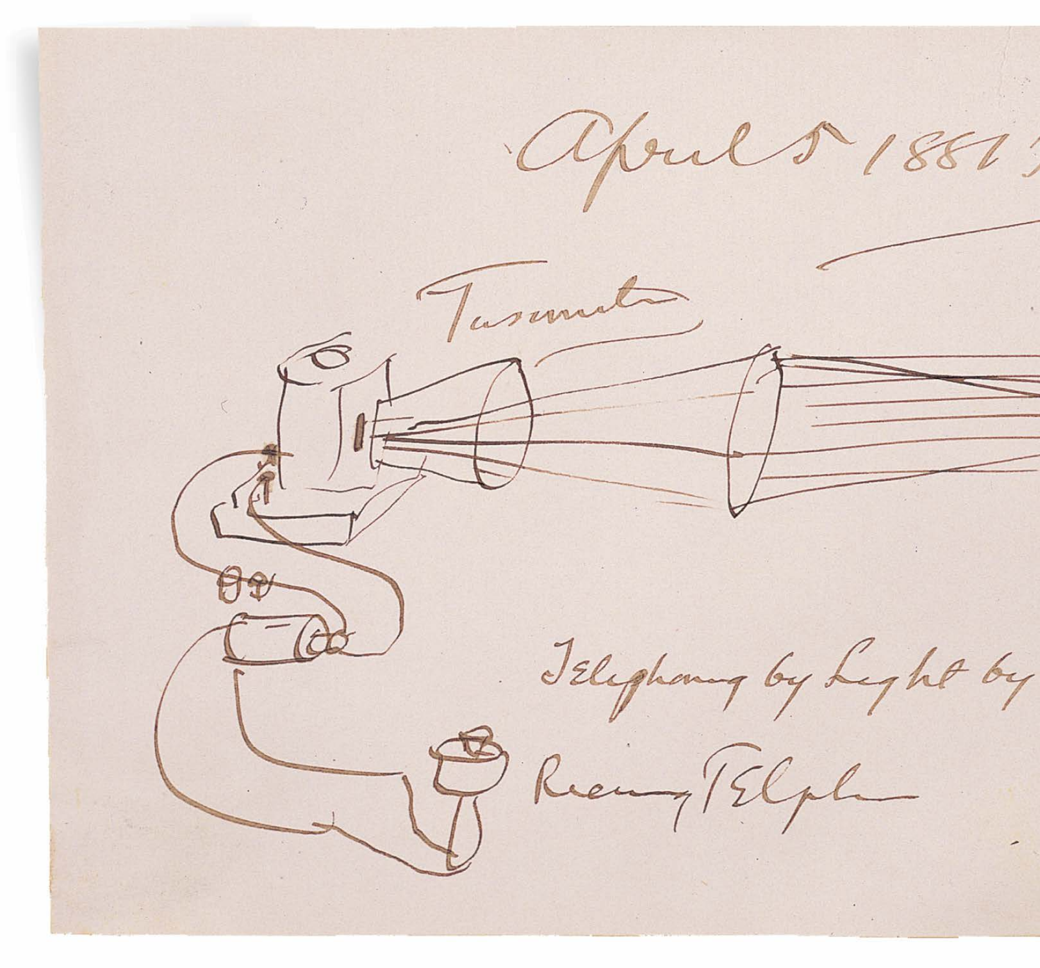
Electromotógrafo refinado,
3 de agosto de 1876

Con el fin de superar los procedimientos clásicos del telégrafo, esta máquina prescindía de los "puntos y rayas" perforados en una cinta larguísima. La sustituía por un papel químicamente preparado que recibía y grababa pulsos eléctricos con un estilete. Este colgaba en el centro del gran recipiente cilíndrico, sobre un carrete de papel conectado a un engranaje que estaba montado horizontalmente. Por invitación de su amigo George Frederick Barker, profesor de física en la Universidad de Pennsylvania y redactor jefe del *Journal of the Franklin Institute*, Edison ya había mostrado una versión primitiva de electromotógrafo en una reunión de la Academia Nacional de Ciencias en Washington, D.C. Sus descubrimientos aparecieron en el número de septiembre de 1874 de *Scientific American*.



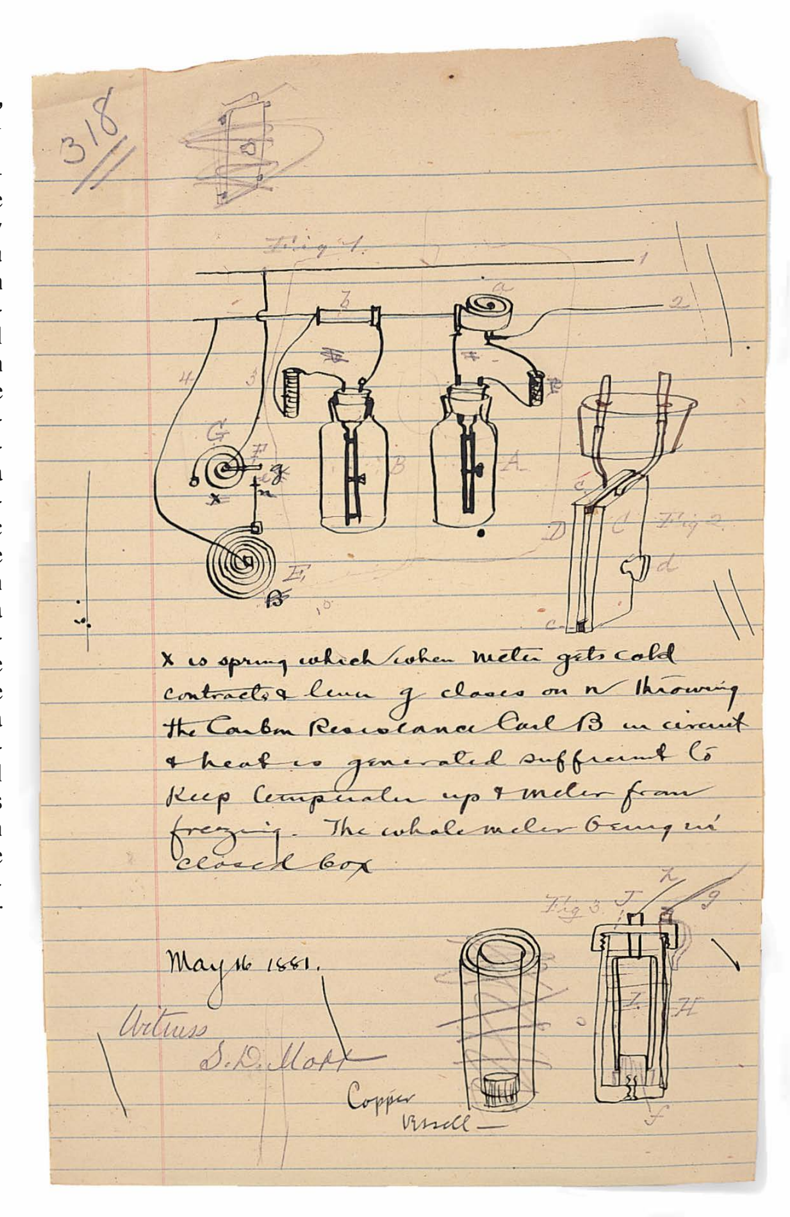
Telefonía luminosa empleando un tasímetro,
5 de abril de 1881

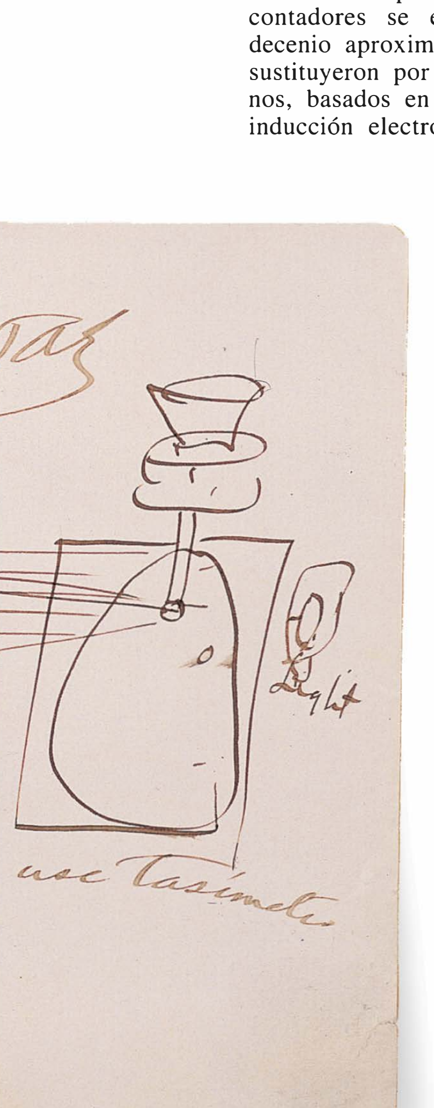
Tal como muestra este curioso dibujo (para un ingenio que nunca se materializó), Edison era también capaz de olvidar la evolución de un invento al siguiente. El tasímetro se fundaba en el termómetro que Edison creó con el propósito de cuantificar el calor desprendido por la corona solar durante el eclipse total del veintinueve de julio de 1878. El componente principal del tasímetro era un "botón" de carbono comprimido que se dilataba y comprimía reaccionando a mínimas variaciones de temperatura. Ese mismo botón de carbono lo empleó Edison en su transmisor telefónico (una mejora al invento de Alexander Graham Bell) puesto que alcanzaba una sensibilidad similar a la presión de las ondas sónicas producidas por la voz humana. Su fantasía le hizo querer "casar" ambos inventos, aunque no tenía ni idea de cómo transmitir señales telefónicas mediante la luz.



***Contador eléctrico*,**
16 de mayo de 1881

Antes de lanzar su campaña napoleónica contra las anticuadas luces de gas, pugnando por iluminar hogares y oficinas en el bajo Manhattan con su nueva bombilla incandescente, Edison trabajó para hacerse con un procedimiento fiable que permitiera medir el gasto de electricidad. Logró el éxito un año después del día en que trazó este dibujo. El diseño incluía incluso la estipulación de Edison de que "el contador esté encerrado en una caja" para que no se congele. Este contador electrolítico mantenía unas placas de zinc paralelas sumergidas en un solución de sulfato de zinc. Una pequeña fracción de la corriente que penetraba en cada domicilio o lugar de trabajo se desviaba a través del contador en vasija, de suerte que el zinc de la solución se depositaba en las placas y se recogía cada mes. La cantidad de corriente consumida se determinaba en función del aumento de peso de las placas. Estos contadores se emplearon durante un decenio aproximadamente hasta que se sustituyeron por los contadores modernos, basados en un rotor que gira por inducción electromagnética.



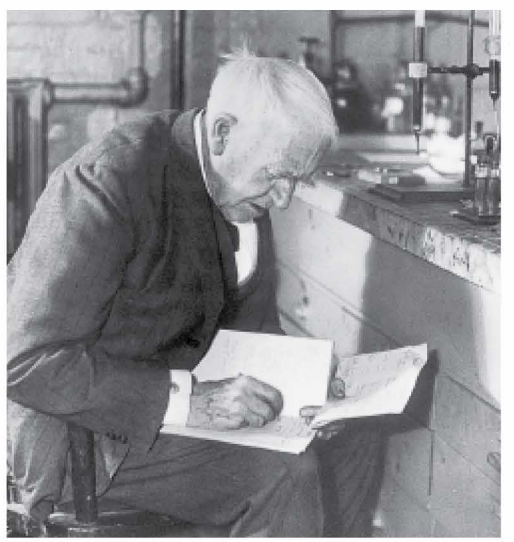




3. Edison hace un extraño alto en su trabajo con el "equipo insomne". Solía comer frugalmente, en la creencia de que pequeños refrigerios de poco volumen sentaban mejor al aparato digestivo.

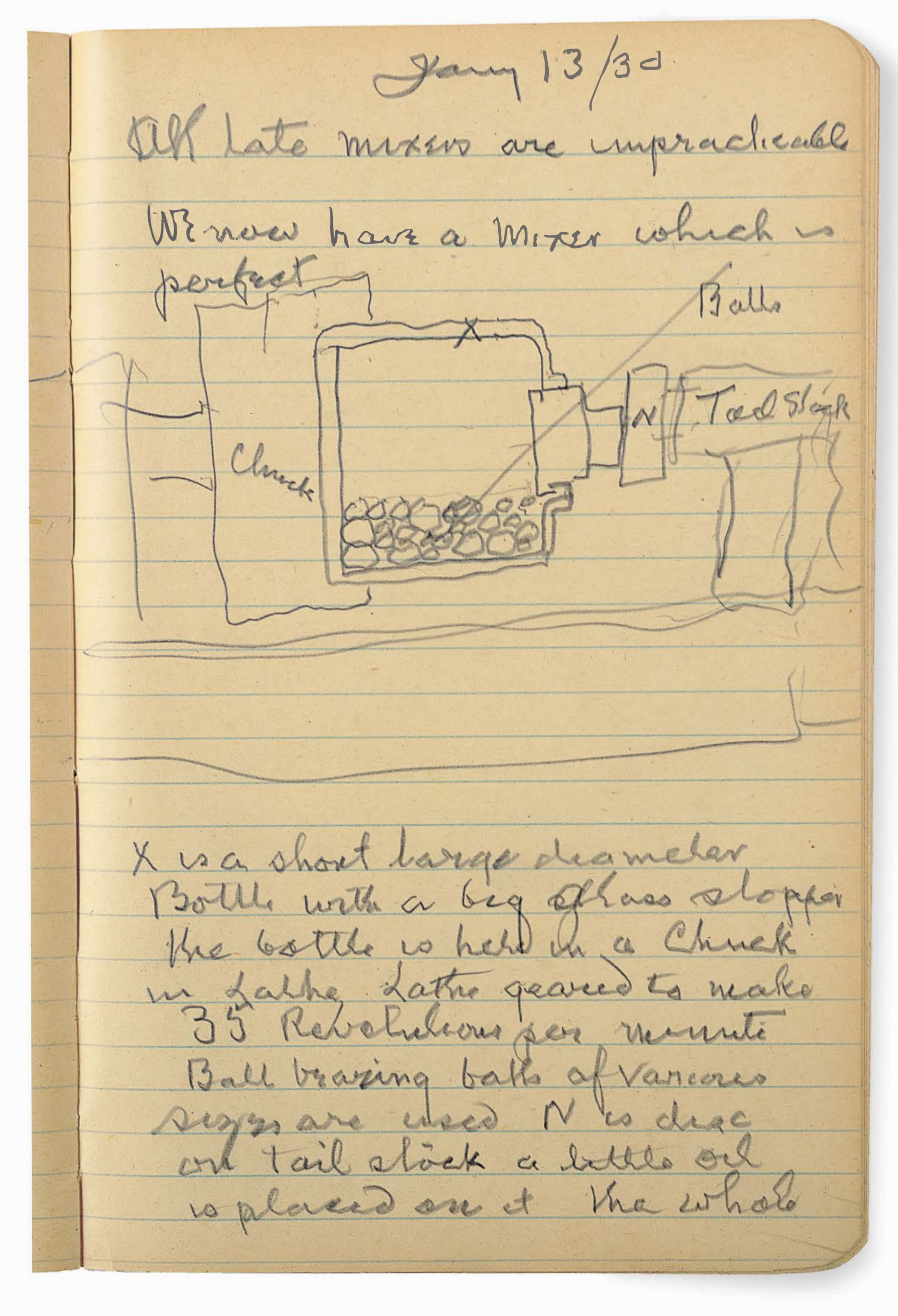
***Croquis rápido de la bombilla eléctrica,* 16 de agosto de 1888**

Con el éxito de la iluminación eléctrica en la urbe neoyorquina, proliferaron los sistemas Edison, comercializándose en todo el país y en Europa. Primero en Menlo Park y luego en Harrison, se estableció la Compañía Edison de Lámparas Eléctricas para la producción industrial de bombillas. Para gestionar esta iniciativa empresarial y promocionar la bombilla, transformándola desde un fenómeno singular de laboratorio en un artículo de consumo general, fue designado Francis R. Upton. Se había éste formado en el Colegio Bowdon y en la Universidad de Princeton, culminando sus estudios de posgrado en la Universidad de Berlín con Hermann von Helmholtz. Edison no cesaba de pasarles a Upton y a sus colaboradores de la fábrica de lámparas esquemas y sugerencias para mejorar la composición del esencial filamento de la lámpara, tal como puede observarse en este boceto rápido procedente de la inevitable libreta de bolsillo del inventor.



4. En su laboratorio de Fort Myers (Florida) a finales de los años veinte, Edison persiste en sus experimentos con caucho orgánico, transfiriendo datos a su diario de laboratorio desde una pequeña libreta de bolsillo utilizada en el trabajo de campo.

***Método para refinar caucho; "brea" (savia) de vara de San José en bruto tamborinada a través de rodamientos de bolas de acero dentro de una botella de vidrio de gran tamaño que gira en un torno,* 13 de enero de 1930**



Este fragmento está tomado del último cuaderno de laboratorio de los archivos de West Orange, escrito por Edison, veinte meses antes de la muerte del inventor (los cuadernos posteriores fueron escritos por sus ayudantes). El esquema y el texto que se muestran fueron trazados por uno de sus lápices cortos y anchos fabricados de encargo, que aguantaban la presión que ejercía al escribir. De anciano, su trazo se hizo trémulo, pero la configuración deliberadamente alfabética de las piezas de las máquinas y la intención decidida de hacer un prototipo y examinar cómo funcionaría nos retrae a los componentes rotulados de los primitivos inventos telegráficos de los años setenta y nos revela cuán penetrante seguía siendo la metodología de Edison. En el último decenio de su vida, Edison se dedicó por entero a descubrir una fuente natural de caucho y a ese fin instaló una inmensa plantación de vara de San José en su residencia de invierno en Fort Myers (Florida). De su savia lechosa, su amigo Harvey Firestone fabricó un juego de neumáticos para el Ford modelo T de Edison.

NEIL BALDWIN se doctoró en poesía americana moderna por la Universidad estatal de Nueva York en Buffalo en 1973. Dirige hoy la Fundación Nacional del Libro. Es autor de tres biografías: *To All Gentleness: William Carlos Williams, The Doctor-Poet*; *Man Ray, American Artist*; y *Edison: Inventing the Century*. Se complace en agradecer la ayuda de Douglas Tarr y George Tselos, encargados del Archivo Histórico Nacional de Edison en West Orange.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THOMAS EDISON, CHEMIST, Byron M. Vanderbilt. American Chemical Society, 1971.

THE AMERICAN TELEGRAPHER: A SOCIAL HISTORY, 1860-1900. Edwin Gabler. Rutgers University Press, 1988.

AMERICAN GENESIS: A CENTURY OF INVENTION AND TECHNOLOGICAL ENTHUSIASM, 1870-1970. Thomas P. Hughes. Viking, 1989.

WORKING AT INVENTING: THOMAS A. EDISON AND THE MENLO PARK EXPERIENCE. Dirigido por William S. Pretzer. Henry Ford Museum y Greenfield Willage, Dearborn, Mich., 1989.

THE PAPERS OF THOMAS A. EDISON. Volumen I coordinado por R. V. Jenkins. Volúmenes II y III dirigidos por R. A. Rosenberg et al. Johns Hopkins University Press, 1989-1995.

¿Cáncer de mama producido por estrógenos ambientales?

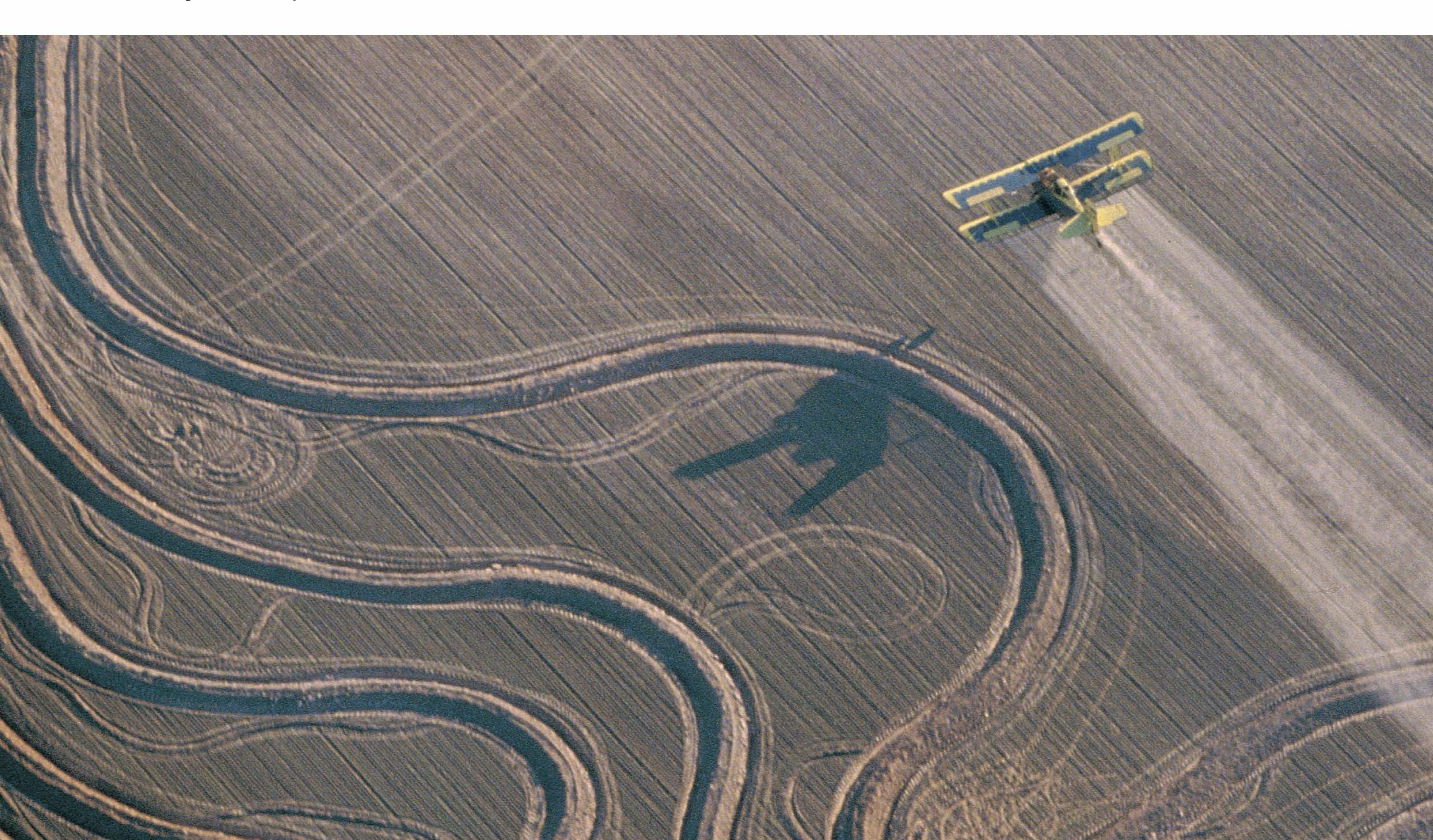
Los autores formulan y razonan una sugestiva hipótesis sobre la participación de ciertas sustancias químicas ambientales, que remedan a las hormonas, en el desarrollo del cáncer mamario

Devra Lee Davis y H. Leon Bradlow

En dos de cada tres mujeres que padecen cáncer de mama los médicos desconocen la etiología del tumor. El durante tanto tiempo esperado "gen del cáncer de mama" (simbolizado en las siglas BRCA1 por su denominación inglesa "breast cancer") no parece que sea responsable de más del 5 por ciento de los casos. La herencia genética y todas las demás características, o factores de riesgo, que aumentan la posibilidad de contraer la enfermedad explican sólo alrededor de un tercio de todos los casos. Nosotros no podemos ufanarnos de haber resuelto por fin el misterio, pero la hipótesis que propusimos, junto con otros, en 1993 quizás arroje cierta luz.

De acuerdo con la investigación propia y ajena, ciertas sustancias del medio serían culpables de una notable fracción de la incidencia de cáncer mamario. Las denominamos xenoestrógenos, o estrógenos foráneos. Los xenoestrógenos, que llegan al organismo procedentes del ambiente, imitan la acción del estrógeno sintetizado en las células o alteran la actividad del mismo. Los hay que amortiguan los efectos producidos por los estrógenos; tales variedades, que se degradan rápidamente en el organismo, suelen encontrarse en la coliflor, el brécol y derivados de la soja. Otras formas, sintéticas, refuerzan aquella acción y son de vida larga. Desde la segunda guerra mundial ha aumentado en la sociedad moderna la presencia de estas últimas (que se hallan en ciertos plaguicidas, fármacos, combustibles y plásticos); son las que nos preocupan.

La hipótesis de que algunos xenoestrógenos promuevan el cáncer de mama, aunque confinada todavía al terreno de la especulación, no cesa de acumular pruebas que la respaldan. Si termina por demostrarse, tal hallazgo podría inducir nuevas formas de evitar un trastorno que este año afectará a centenares de miles de mujeres y matará a un número elevado de ellas, robándoles 20 años de vida. Hacen falta estrategias preventivas. Desde los años setenta no se han introducido nuevos tratamientos



decisivos y apenas si han mejorado los porcentajes de supervivencia.

Los xenoestrógenos no son los únicos remedadores de la acción hormonal que pueden contribuir al cáncer de mama. Hay indicios de que otros compuestos que atentan contra el sistema endocrino podrían promover también el desarrollo de la enfermedad. Y aún más: a lo largo de los últimos 12 meses los gobiernos alemán, británico y danés han publicado informes que, asociados con investigaciones precedentes, sugieren que los xenoestrógenos y otros materiales alteradores del sistema endocrino extienden su amenaza a los varones y a la vida salvaje. Según parece, tales compuestos podrían contribuir al desarrollo anómalo de los animales y a diversas alteraciones vinculadas con la reproducción que, según se dice, son cada vez más frecuentes en los varones de todo el mundo (en particular, el cáncer testicular, los testículos no descendidos, los defectos de las vías urinarias y la caída del recuento de espermatozoides).

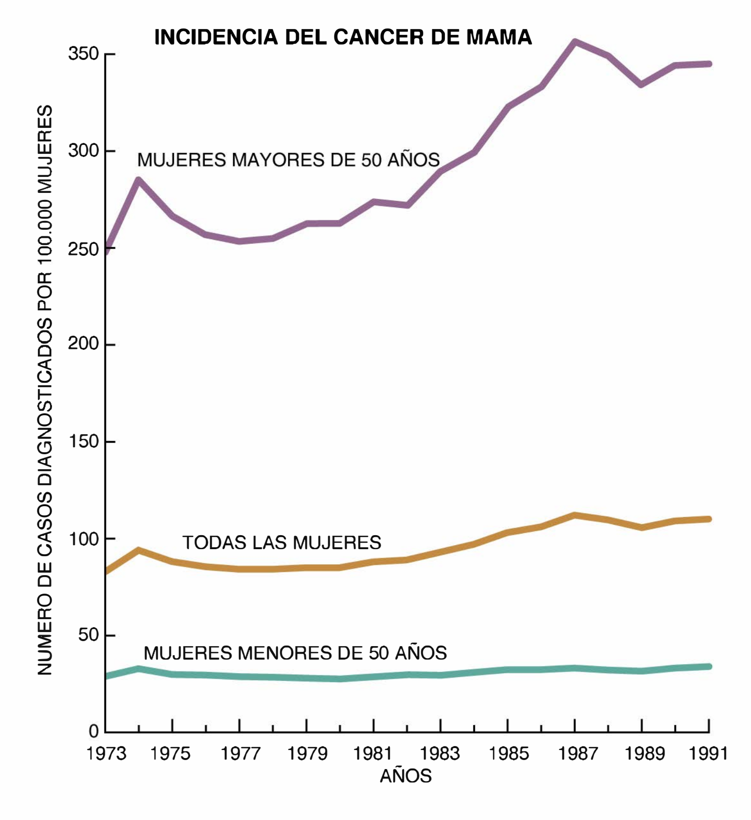
Igual que otras neoplasias malignas, el cáncer de mama surge cuando una célula escapa a los habituales controles de la replicación y se multiplica sin tasa. Se admite que esta evasión requiere la acumulación de mutaciones en los genes que regulan la división celular y aseguran la replicación precisa del ADN. Hormonas y otras sustancias de la proximidad de la célula pueden promover también el crecimiento celular anómalo.

Con nuestro equipo, empezamos a considerar el papel de los xenoestrógenos cuando intentábamos descifrar por qué tantas mujeres que desarrollan cáncer de mama carecen de la mayoría de los factores de riesgo conocidos. Entre los riesgos establecidos se cuentan el comienzo precoz de la menstruación, la entrada tardía en la menopausia y el no haber tenido hijos o no haberlos amamantado. Estos y otros factores comparten un rasgo común, a saber, promueven el cáncer al elevar el tiempo de exposición a estrógenos biológicamente activos (sobre todo al estradiol, forma que se produce en abundancia durante cada ciclo menstrual; algo se almacena en estado inactivo, pero el resto puede condicionar el funcionamiento fisiológico). No deja, pues, de resultar paradójico que el estrógeno que las mujeres precisan para su desarrollo sexual y para la reproducción pueda perjudicarlas, facilitando el desarrollo de cáncer mamario.

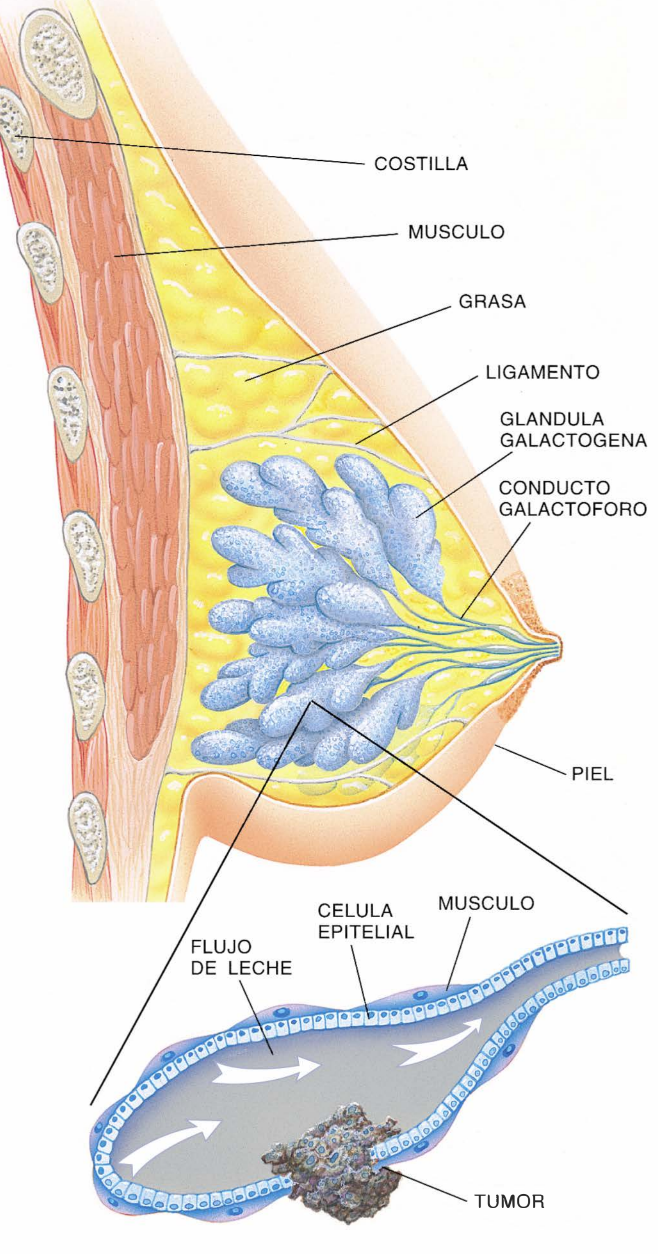
Hay mayor probabilidad de que aparezca cáncer de mama en las mujeres con más de 50 años que en las jóvenes, por la razón verosímil de su exposición dilatada al estradiol bioactivo. Las dietas ricas en grasa animal o alcohol también parecen incrementar el riesgo; lo atribuimos a un doble motivo: el tejido adiposo puede fabricar estrógeno y el alcohol incrementa la producción de hormona. Más allá de la exposición al estrógeno y de la herencia de propensión génica a su desarrollo (manifestada a menudo en el hecho de tener parientes consanguíneas con cáncer de mama antes de la menopausia), otro importante factor de riesgo es el haber recibido una elevada dosis torácica de rayos X.

Si la presencia de un exceso de estrógeno natural puede ser peligrosa, razonamos, la exposición prolongada a los xenoestrógenos también lo sería y explicaría muchos casos de etiología incierta. La posibilidad de la intervención de los xenoestrógenos nos intrigó por una nueva razón. Podría explicar en parte, así pensamos, el crecimiento incesante de la incidencia de cáncer de mama en todo el mundo desde 1940; ese parámetro suele indicarse mediante el número de afectadas por cada 100.000

DEVRA LEE DAVIS y H. LEON BRADLOW vienen colaborando desde los años ochenta. Davis acaba de ser nombrada directora del programa del Instituto de Recursos Mundiales, un centro de investigación con sede en Washington. Trabaja también en el neoyorquino Laboratorio Strang-Cornell de Investigación Oncológica. En este centro, Bradlow dirige el laboratorio de endocrinología bioquímica, labor que comparte con la docencia en la facultad de medicina de la Universidad de Cornell.



1. LOS PLAGUICIDAS ROCIADOS sobre las cosechas constituyen una fuente principal de estrógenos foráneos, o xenoéstrógenos, en el éntorno. Los autores proponen que la creciente exposición a los xenoestrógenos explica parte del aumento de la incidencia del cáncer de mama en los últimos decenios. Las gráficas de la derecha muestran que una fracción destacada del reciente aumtento ocurrido en Estados Unidos se ha producido en mujeres mayores de 50 años. Los datos proceden del Programa de Resultados Finales, Epidemiología y Vigilancia del Instituto Nacional del Cáncer, que ajustó los porcentajes para eliminar la influencia de los cambios de la distribución de la edad de la población a lo largo del tiempo, que podrían crear confusión.



2. LA MAMA contiene varios tejidos. Donde es más probable que surjan los tumores es en las células epiteliales (*corte aparte*) que tapizan las glándulas y los conductos galactóforos.

mujeres. El porcentaje más elevado corresponde a las naciones industrializadas, pero el ritmo de incidencia corre más deprisa en algunos países subdesarrollados. Parte del incremento observado desde los años ochenta obedece a una mejor capacidad de detección, al menos entre la mujeres menores de 65 años; las ancianas no se someterán probablemente a exámenes de las mamas y mamografías, aunque se beneficiarían de las pruebas de detección. Los cambios acaecidos en los factores de riesgo —como la tendencia hacia una menarquía más temprana (consecuencia de las dietas modernas) y a tener menos embarazos— influyen también en el modelo. Pero la causa responsable de la fracción restante del aumento se les ha escapado a los investigadores.

Stephen H. Safe, de la Universidad A&M de Texas, duda de que los xenoestrógenos desempeñen algún papel en el cáncer de mama. Con él hay quienes afirman que la gente está expuesta a cantidades irrelevantes de cada sustancia química, que los compuestos son mucho menos potentes que el estradiol y que los xenoestrógenos vegetales, capaces de amortiguar los efectos del estrógeno, cancelan la actividad de las clases perjudiciales. Pero se trata de razones que no convencen. Aunque un xenoestrógeno dado pueda entrar en el organismo en pequeñas cantidades, en cuanto grupo son ubicuos; además, tienden a persistir durante decenios en el cuerpo y pueden acumularse hasta niveles elevados. Los estrógenos vegetales, en cambio, se degradan rápidamente, por lo que resulta improbable que los consumidos en la dieta puedan anular la actividad de los compuestos sintéticos persistentes.

Para entender de qué modo los xenoestrógenos podrían inducir el cáncer, conviene conocer antes la forma en que el propio estradiol, natural o endógeno, participa en el proceso. Aunque las etapas no están del todo claras, es seguro que en ello tiene que ver la capacidad del estradiol para estimular la multiplicación de las células epiteliales en el tejido mamario. Estas células tapizan las glándulas y los conductos lácteos a través de los cuales la leche se transporta hasta los lactantes. La hormona influye en el crecimiento celular uniéndose al receptor estrogénico, una proteína intracelular. Los complejos hormona-receptor pueden unirse al ADN en el núcleo y activar los genes que dirigen la división celular. Esta activación acelera el ritmo de replicación del ADN e incrementa por ende la probabilidad de que surja una mutación, posiblemente carcinogénica, y de que quede sin reparar.

Dijimos antes que el estradiol constituye una de las diversas formas de estrógenos que el organismo fabrica. La conversión del estradiol en otras variedades de estrógeno refuerza quizás el desarrollo del cáncer. Tras la síntesis de estradiol, las enzimas alteran la ubicación de un grupo OH (el radical hidroxilo) en muchas de tales moléculas. A veces, se origina un producto, o metabolito, que se denomina 16-alfa-hidroxiestrona; otras, puede formarse 2-hidroxiestrona. Los dos productos, cuyas actividades difieren notablemente, no pueden fabricarse al mismo tiempo; siempre, pues, que las células sintetizan un metabolito cambia la proporción del tipo 16-alfa al tipo 2-hidroxiestrona.

Nosotros sospechamos que los procesos que favorecen la conversión metabólica del estradiol en la forma 16-alfa contribuyen a producir cáncer de mama, aunque esta opinión no es aceptada por todos. En primer lugar, la 2-hidroxiestrona activa el receptor estrogénico sólo débilmente; en analogía con el colesterol "bueno", podría denominarse estrógeno "bueno". Sin embargo, la variedad 16-alfa (la posible variedad "mala") incrementa intensamente la interacción entre el receptor y genes promotores del crecimiento, potencia la proliferación de las células mamarias y quizá daña el ADN. Además, en estudios realizados en animales y en ensayos humanos recientes se han ligado los niveles elevados de 16-alfa-hidroxiesterona con el cáncer de mama.

En uno de los experimentos acometidos en animales se encontró que las cepas de ratón que desarrollan tumores espontáneos de mama en estado natural tenían cuatro veces más metabolito malo en su tejido mamario que las cepas resistentes al cáncer de mama. Más tarde, Michael P. Osborne, Nitin T. Telang y otros investigadores del Laboratorio Strang-Cornell de Investigación Oncológica, de Nueva York, demostraron que el tejido mamario de las mujeres con cáncer de mama contenía casi cinco veces más del compuesto 16-alfa que el tejido comparable de mujeres sin cáncer. No hace mucho, Joachim G. Liehr, de la Universidad de Texas en Galveston, y Ercole L. Cavalieri, del Instituto Eppley de Investigación Oncológica de Omaha, han escrito sobre un manifiesto incremento de la 4-hidroxiestrona en algunos casos de cáncer mamario.

La medida en que los estrógenos fomentan el desarrollo de cáncer de mama depende, tal vez, no sólo de la cantidad de exposición, sino tam-

bién del momento en que ésta ocurre. Según sugieren los resultados de varias investigaciones, la exposición insólitamente elevada a estrógenos durante el desarrollo prenatal, la adolescencia o los diez años, más o menos, que preceden a la menopausia, facilita la tumoración de las células mamarias. Es probable que, en esos momentos, el estrógeno programe a las células para responder con fuerza a la estimulación de épocas tardías de la vida. Quizá también explique por qué las mujeres que han parido en su juventud muestren cierta protección frente al cáncer de mama. Se sabe ahora que los embarazos a término a una edad joven inducen el desarrollo del tejido mamario en forma tal, que las células epiteliales resisten las señales promotoras del crecimiento emitidas por el estrógeno.

Determinados xenoestrógenos podrían instar la tumoración potenciando la producción de estrógenos "malos". Otros xenoestrógenos podrían actuar uniéndose al receptor estrogénico e induciéndole a emitir señales proliferativas innecesarias. Las sustancias químicas con esas propiedades pueden fomentar el desarrollo del cáncer por otros caminos, además: hay indicios de que algunos xenoestrógenos ayudan a las células a generar los vasos sanguíneos necesarios para el crecimiento y propagación del tumor; otros parecen dañar el ADN. Asimismo, la exposición en momentos cruciales quizá potencie los efectos carcinogénicos de los xenoestrógenos.

¿Cómo podrían entrar los xenoestrógenos en el organismo para actuar sobre las células mamarias? Una de las vías más frecuentes es, probablemente, a través de la grasa animal, porque los xenoestrógenos sintéticos tienden a acumularse en el tejido adiposo. Los alimentos procedentes de los animales instalados en la parte superior de la cadena trófica es probable que liberen mayores dosis que los alimentos procedentes de organismos de niveles inferiores; por consiguiente, la carne obtenida de animales que se alimentan de animales inferiores, hierba y cereales contaminados o beben agua emponzoñada se expondrán a buen seguro mucho más que si se tomara un plato de verduras portadoras de residuos de plaguicidas estrogénicos. El aceite de maíz y las grasas poliinsaturadas afines parecen ejercer efectos estrogénicos y pueden ser también una fuente de exposición. Quienes viven en áreas donde el aire y el agua están muy contaminados por la industria, los vertidos o quema de residuos podrían recibir productos estrogénicos a través de las vías respiratorias o por ingestión del agua contaminada. También pueden producirse exposiciones laborales.

Los primeros indicios de que los productos químicos sintéticos podrían ejercer efectos estrogénicos nocivos sobre los organismos se descubrieron hace más de 50 años, cuando los investigadores publicaron que los productos químicos del ambiente parecían afectar profundamente a la reproducción de muchas especies, entre ellas el visón y la oveja. El trabajo experimental confirmó después que el DDT (diclorodifeniltricloroetano) y ciertos otros plaguicidas organoclorados —entre ellos el metoxiclor y el Kepone (clordecona)— podrían alterar el sistema endocrino.

Hubo una época en que el DDT se usó con mucha liberalidad, pero hace

Xenoestrógenos comprobados

Los xenoestrógenos que se enumeran a continuación se cuentan entre los compuestos mejor conocidos cuyo carácter xenoestrogénico ha quedado puesto de manifiesto en las pruebas de laboratorio. Al DDT y ciertos PCB se les ha atribuido un papel causal en el cáncer de mama en estudios humanos. Las sustancias prohibidas en algunos países persisten en el ambiente durante muchos años; en otras naciones incluso están permitidas, por lo que pueden aparecer en alimentos importados desde allí e incluso propagarse a través del aire.

COMPUESTO	USO	COMENTARIO
Compuestos organoclorados		
Atrazina	Herbicida	De empleo generalizado
Clordano	Termicida	Se empleó con profusión hasta que se prohibió en 1988
DDT	Insecticida	Se empleó con profusión hasta que se prohibió en 1972; persiste en nuestro organismo
Endosulfán	Insecticida	De empleo generalizado
Kepone	De cebo en las trampas de hormigas y cucarachas	Prohibido en 1977
Metoxiclor	Insecticida	Un pariente próximo del DDT
Algunos PCB	Componente del aislamiento eléctrico	Aunque prohibido, se encuentra todavía en viejos transformadores
Plásticos		
Bisfenol A	Producto de degradación del policarbonato	Experimenta lixiviación en los líquidos cuando se calienta
Nonilfenol	Ablandador de plásticos	Experimenta lixiviación en los líquidos a temperatura ambiente
Fármacos		
Estrógenos sintéticos	Constituyentes de las píldoras anticonceptivas y de las terapias de sustitución con estrógenos	Un fármaco, el dietilestilbestrol (DES), se administró a varios millones de mujeres durante el embarazo antes de su prohibición con ese fin en 1971
Cimetidina	Tratamiento de la úlcera	———
Constituyentes de los combustibles		
Hidrocarburos aromáticos	Componentes del petróleo	Pueden inhalarse de la gasolina y del tubo de escape de los coches

años que está prohibido; en Estados Unidos desde 1972. Gracias a esa medida ha caído su concentración ambiental. Pero los productos químicos persisten en el ambiente durante más de 50 años, por lo que sigue siendo ubicuo. Se usó también con prodigalidad en muchas naciones subdesarrolladas, en especial en lugares azotados por el paludismo. El metoxiclor es un insecticida usado sobre los árboles y las verduras, y el Kepone fue un constituyente de las trampas para hormigas y cucarachas hasta que dejó de usarse en 1977.

A lo largo de los últimos 15 años se han realizado experimentos que han demostrado el carácter estrogénico de varios compuestos que causan tumores mamarios en animales. Se cuentan entre ellos hidrocarburos aromáticos de los combustibles y los PCB (bifenilos policlorados). Los PCB son compuestos organoclorados de larga vida que se usaron en un principio como aislantes eléctricos. Todavía persisten en transformadores antiguos y se han detectado en el suelo, el agua, los animales y, a veces, en el tejido humano. Además, se ha encontrado que inyecciones de DDT aceleran el crecimiento de los tumores mamarios existentes en los ratones macho. El crecimiento de esos tumores en los machos indica que un producto químico es desmesuradamente carcinogénico, porque estos animales se caracterizan por su resistencia al cáncer de mama. De igual forma, la inyección de atracina a ratas macho, un popular herbicida encontrado a menudo en el agua subterránea, aumenta la incidencia de tumores mamarios.

En muchos de los experimentos se liberaron dosis mayores que las que hallarían los animales en la naturaleza. Pero los datos recogidos por Ana M. Soto y Carlos M. Sonnenschein, del hospital clínico de Tufts, revelan la potencia nociva de cantidades pequeñas cuando se combinan las exposiciones. Tras incubar células de tumor mamario con una mezcla de los plaguicidas organoclorados de uso común, cada uno a dosis bajas, observaron una proliferación mayor de la manifestada al incorporar en las células los compuestos uno a uno.

Más recientemente, el examen de diversos plaguicidas ha reforzado la plausible idea de la promoción del cáncer mamario por ciertos xenoestrógenos mediante la decantación del equilibrio de los productos secundarios del estradiol hacia la variedad mala, el 16-alfa. En particular, hemos hallado, con nuestros colegas del Strang-Cornell, que el DDT, el DDE (un producto secundario del DDT), la atracina y el Kepone multiplican la concentración del metabolito 16-alfa en células de cáncer de mama cultivadas. Por el contrario, un xenoestrógeno vegetal natural produce el efecto opuesto. El compuesto indol-3-carbinol (que aparece en el brécol, las coles de bruselas, el repollo y la coliflor) favorece la producción del metabolito 2-hidroxi. Los productos de soja se comportan de una manera muy parecida.

Aunque las pruebas de laboratorio que revelan el carácter estrogénico de los plásticos se han recabado sólo en los últimos cinco años, se conocían pistas sutiles desde mucho antes. En las postrimerías de los años setenta, David Feldman y Aruna V. Krishnan, de la Universidad de Stanford, se encontraron con una forma de levadura que parecía producir estrógeno. Durante más de diez años se aplicaron a descifrar por qué este sencillo organismo unicelular, que no destinaba ninguna función obvia para dicha hormona, lograba semejante proeza. Por fin, en 1990, dieron la respuesta: la levadura no sintetizaba estrógeno, sino que se trataba de un producto químico que se había lixiviado de los matraces de plástico en los que crecían las levaduras. Este compuesto químico, el bisfenol A, es un producto de degradación del policarbonato, que se emplea en muchos plásticos. El policarbonato suele aparecer en el revestimiento de las latas de comida y en los envases de zumos. El bisfenol A escapa del plástico cuando se somete el policarbonato a elevadas temperaturas.

De la capacidad del bisfenol A para producir efectos estrogénicos en los seres humanos dan fe los trabajadores varones de la industria del plástico que desarrollan mamas después de la inhalación crónica del producto químico en el polvo ambiental. Pero nadie sabe todavía si se filtra en los alimentos que no se calientan o en los que se calientan a las temperaturas de cocción normales, si sigue siendo activo cuando se ingiere o si participa en la transformación de las células mamarias normales en neoplásicas.

En 1992 Soto y Sonnenschein descifraron otro misterio relacionado con los plásticos. En una línea de investigación que no tenía nada que ver con los efectos del estrógeno o los xenoestrógenos, descubrieron que los cultivos de células de cánceres de mama se multiplicaban a veces más deprisa de lo esperado. La ulterior exploración reveló que la culpable era una sustancia química utilizada para hacer flexible el plástico, el nonilfenol. Como ocurrió con el bisfenol A, había escapado de los artículos de plástico del laboratorio e, imitando al estrógeno, inducido el crecimiento. Sustancias afines pueden encontrarse en envases de poliestireno, tubos intravenosos y algunos detergentes y limpia-

ESTRADIOL
PRODUCTO "MALO": 16-ALPHA-HIDROXIESTRONA
PRODUCTO "BUENO": 2-HIDROXIESTRONA

3. EL ESTRADIOL PUEDE CONVERTIRSE en dos productos que difieren estructuralmente sólo en la posición de un grupo OH (*rojo en el diagrama*). Abundan las pruebas de que la forma portadora del OH en la posición 16 (el 16-alfa-hidroxiestrona) promueve el cáncer de mama, en tanto que la 2-hidroxiestrona ofrece protección. Thomas L. Klug ha observado que el tejido mamario canceroso procedente de mujeres (*micrografía*) contiene mucho más 16-alfa-hidroxiestrona (*tinción*) que el tejido mamario normal. Algunos xenoestrógenos pueden contribuir al cáncer de mama elevando los niveles de 16-alfa-hidroxiestrona en el tejido mamario.

¿Un mensaje de la fauna salvaje?

Se han encontrado trastornos relacionados con la reproducción en animales nacidos en ecosistemas contaminados por xenoestrógenos y otros compuestos que degradan el sistema endocrino, en especial los que persisten en el ambiente. Merecen citarse los trastornos siguientes:



- Producción de vitelogina, una proteína femenina, por los peces macho que viven cerca de los desagües de los sistemas de alcantarillado.

- Muerte de embriones, deformidades y comportamiento de nidificación anómalo de aves piscívoras que viven en las regiones de los Grandes Lagos, contaminadas por compuestos organoclorados. Así, han nacido águilas (*fotografía superior*) y otras aves con picos cruzados; las hembras de gaviota comparten su nido con otras y, juntas, producen nidadas supranormales (*fotografía central*). El compartir los nidos es un signo de que la población de machos está disminuyendo.



- Penes anormalmente pequeños y niveles hormonales alterados en los caimanes eclosionados en el lago Apopka, Florida, después de un vertido masivo de Kelthane en 1980 (plaguicida que en esa época, y hasta finales del decenio de 1980, contenía DDT como ingrediente "inerte").

- Retención de testículos en panteras que viven en regiones sudcentrales de Florida donde el suelo o el agua contenían elevadas concentraciones de metales pesados y sustancias organocloradas persistentes.



- Deformación de las conchas de ostras recogidas en aguas contaminadas con Kepone (*ejemplares del medio y la derecha de la fotografía de abajo*)

- Doble porcentaje de cáncer testicular y defectos reproductores entre los perros militares que sirvieron en Vietnam, en comparación con los perros que sirvieron en otros sitios durante el mismo período.

Las causas de tales alteraciones son difíciles de establecer de forma tajante. Con todo, se han reproducido algunos de esos defectos en animales de experimentación deliberadamente expuestos a los contaminantes seleccionados. Los estudios combinados de campo y de laboratorio sugieren que los compuestos del entorno que alteran el sistema endocrino pueden contribuir no sólo al cáncer de mama en las mujeres, sino también a alteraciones reproductoras en el varón y al desarrollo de anomalías en los animales.

dores domésticos. Se desconocen sus efectos en el organismo.

Como los análisis de laboratorio que se han realizado, los estudios en seres humanos (sobre todo el examen de los plaguicidas organoclorados y de los PCB) involucran a los xenoestrógenos en el cáncer mamario. En un comienzo no se advertía dicha asociación entre cáncer y xenoestrógenos, pero se trataba de estudios sobre muestras pequeñas de sujetos y que a menudo no conseguían comparar pacientes con características similares. Algunos descubrimientos más recientes indican que esas primeras conclusiones eran prematuras.

En una de las investigaciones más recientes, Mary S. Wolff, del hospital neoyorquino Monte Sinaí, y sus colegas de la Universidad de Nueva York tuvieron acceso a sangre almacenada de 14.000 mujeres. El equipo midió los niveles de DDE del suero de las 58 mujeres a las que se diagnosticó cáncer de mama y en el suero de 171 mujeres de edad y factores de riesgo equiparables. Las muestras procedentes de las pacientes neoplásicas mostraban niveles más elevados de DDE. Además, el riesgo de padecer cáncer en las mujeres cuya sangre contenía la mayor cantidad de DDE cuadruplicaba el de las mujeres con la menor cantidad de DDE. En otro estudio pormenorizado, un equipo de investigación canadiense dirigido por Eric Dewailly, de la Universidad Laval, observó el tejido de 41 mujeres a las que se había extirpado por biopsia una masa de mama. Las pacientes que resultaron tener cáncer de mama sensible al estrógeno presentaban concentraciones más elevadas de DDE y de PCB.

En un ensayo extenso realizado entretanto, en el que se examinaban los niveles de DDE y de PCB, se han producido, sin embargo, lo que sus autores reputan resultados no concluyentes. En 1994, el equipo de Nancy K. Krieger, del Instituto de Investigación de la Fundación Kaiser en Oakland, comparó los niveles de esos contaminantes en sangre almacenada de 150 mujeres neoplásicas y de 150 controles. Cuando combinaron los tres grupos étnicos del estudio (afroamericanas, blancas y asioamericanas) no observaron diferencias entre las pacientes con cáncer de mama y las controles.

A primera vista, estos resultados cuestionan nuestra hipótesis. David Savitz, de la Universidad de Carolina del Norte, afirma, sin embargo, que la combinación de mujeres de origen asiático con otras mujeres norteamericanas enmascara una tendencia distorsionadora. Cuando revisó los datos publicados para cada grupo por separado, descubrió que, en comparación con las mujeres expuestas a niveles más bajos, las mujeres blancas y las afroamericanas con los niveles más elevados de exposición a las sustancias químicas tenían una probabilidad de desarrollar cáncer de mama dos a tres veces mayor. La agregación de los datos de los tres grupos eliminaba esas notables diferencias porque las mujeres asiáticas con elevados niveles de compuestos organoclorados en sangre no presentaban un incremento desmesurado de cáncer. El resultado

obtenido en las mujeres de origen asiático concuerda con los datos según los cuales, en su patria, la incidencia de cáncer mamario de las mujeres asiáticas es la quinta parte de la registrada entre las norteamericanas, las europeas y las afroamericanas.

¿A qué se debía esa baja incidencia entre las mujeres de origen asiático? Aun viviendo en Estados Unidos, muchas siguen una dieta rica en productos de soja, repollo, brécol y otros vegetales. Al menos según un estudio, tienen también en general niveles más elevados de 2-hidroxiestrona y niveles inferiores de 16-alfahidroxiestrona que las mujeres no asiáticas. Uno se ve urgido, pues, a suponer que las mujeres asiáticas están protegidas en parte por dietas que favorecen la formación de la hidroxiestrona buena y reducen al mínimo la producción del estrógeno malo, aunque las diferencias genéticas y otros factores ambientales podrían intervenir también.

La experimentación que vincula los xenoestrógenos con el cáncer mamario subraya la necesidad de una ulterior investigación de laboratorio y clínica. Ya se han programado algunos ensayos clínicos de interés. Estados Unidos cuenta con un plan de acción nacional para explorar las causas potencialmente evitables de cáncer de mama, entre ellos los xenoestrógenos. Otro proyecto europeo que aborda la relación entre dieta y cáncer de mama se propone descifrar si los xenoestrógenos vegetales ayudan a evitar la enfermedad.

Pero, ¿zanja la cuestión el mero hecho de iniciar más investigaciones? ¿Deben esperar gobiernos e industria hasta que los científicos tengan más pruebas que relacionen los xenoestrógenos con el cáncer de mama? Creemos que no. Allí donde las grandes poblaciones están sujetas a un riesgo, aunque incierto posiblemente generalizado, esperar a disponer de nuevas pruebas del peligro es especular con la salud humana. La demora en declarar que los cigarrillos constituyen un grave riesgo para la salud acarreó millones de muertes evitables, causadas por cáncer de pulmón asociado al tabaquismo, otras enfermedades pulmonares y cardiopatías.

La prudencia dicta que se den ya varios pasos. En primer lugar, debe evaluarse la potencial estrogenicidad de aquellos materiales que desempeñan un papel principal en nuestra sociedad, como son los combustibles, los fármacos y los plásticos, así como los agentes sustitutivos propuestos. En segundo lugar, deben evaluarse los posibles efectos de los compuestos estrogénicos sobre el organismo humano. En estas pruebas han de estudiarse las consecuencias de la exposición a largo plazo y de las interacciones entre las sustancias químicas de uso generalizado. En tercer lugar, sería necesario restringir el empleo de xenoestrógenos no esenciales.

El cáncer es una enfermedad compleja, que resulta de la interacción de muchos factores que pueden diferir de una persona a otra. Sabemos que los xenoestrógenos no son culpables de todos los cánceres de mama. Además, son evitables, lo que no puede decirse de muchos factores de riesgo establecidos: comienzo precoz de la menarquía y menopausia tardía. Si la reducción de las exposiciones a los xenoestrógenos permitiera prevenir sólo el 20 por ciento de los cánceres de mama cada año (cuatro veces más de los causados por la herencia de genes defectuosos), se evitaría esta enfermedad al menos a 36.000 mujeres (y a quienes cuidan de ellas), por no hablar del ahorro público en gastos de tratamiento y atención, cada vez más elevados. Tales perspectivas son demasiado seductoras como para ignorarlas.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

MEDICAL HYPOTHESIS: XENOESTROGENS AS PREVENTABLE CAUSES OF BREAST CANCER. D. Lee Davis, H. Leon Bradlow, M. Wolff, T. Woodruff, D. G. Hoel y H. Anton-Culver en *Environmental Health Perspectives*, vol. 101, n.º 5, págs. 372-377; octubre de 1993.

ENVIRONMENTALLY INDUCED ALTERATIONS IN DEVELOPMENT: A FOCUS ON WILDLIFE. Dirigido por R. Rolland, M. Gilbertson y T. Colborn. Número especial de *Environmental Health Perspectives Supplements*, vol. 103, suplemento 4, mayo de 1995.

ENVIRONMENTAL OESTROGENS: CONSEQUENCES FOR HUMAN HEALTH AND WILDLIFE. Evaluación A1. Instituto MRC para el Ambiente y la Salud, Universidad de Leicester, 1995.

REDUCING BREAST CANCER RISK IN WOMEN. Dirigido por Basil A. Stoll. Kluwer Academic Publishers, 1995.

ESTROGENS IN THE ENVIRONMENT III. Actas del simposio en *Environmental Health Perspectives Supplements*. Dirigido por John McLachlan y Kenneth Korach (en prensa).

Ciencia del Tercer Mundo

En los países subdesarrollados, muchos investigadores se sienten atrapados en un círculo vicioso de desatención y prejuicios: las revistas del primer mundo no publican sus óptimos trabajos científicos

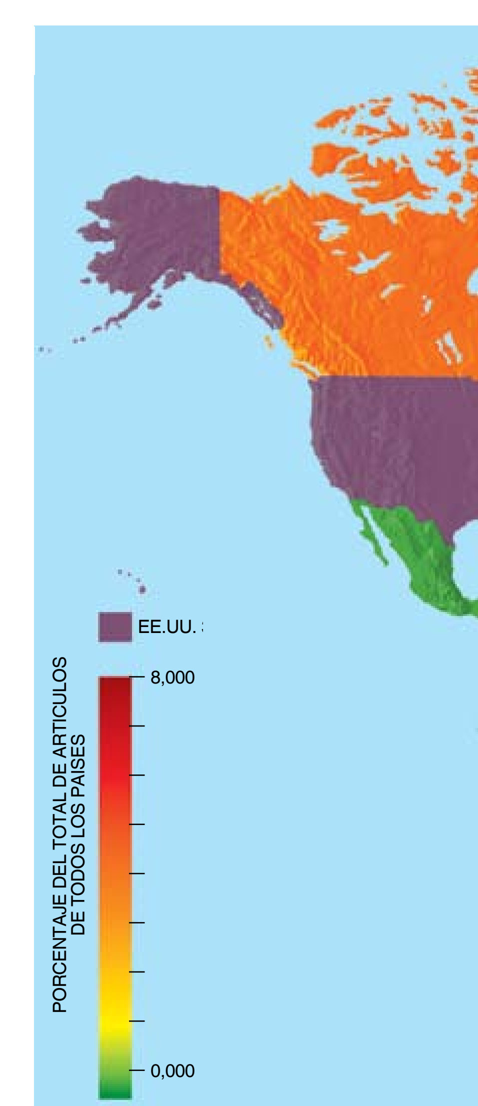
W. Wayt Gibbs

Luis Benítez-Bribiesca se pone nostálgico al recordar los primeros años de *Archivos de Investigación Médica*, revista mexicana de la que es director. Poco después de iniciarse, en 1970, su publicación, una compañía privada con sede en Filadelfia, el Instituto de Información Científica (ISI), aceptó incluirla en su *Science Citation Index* (*SCI*), que enlista artículos de unas 3300 revistas científicas seleccionadas entre las más de 70.000 que hay en el mundo entero. La inclusión en el *SCI* y en otros selectos elencos bibliográficos garantiza que los artículos de una revista sean tenidos en cuenta por los científicos a la hora de informarse sobre los nue-

APORTACION DE ARTICULOS A LAS PRINCIPALES REVISTAS (PORCENTAJE DEL TOTAL PARA TODOS LOS PAISES)

EE.UU.	30,817
JAPON	8,244
REINO UNIDO	7,924
ALEMANIA	7,184
FRANCIA	5,653
CANADA	4,302
RUSIA	4,092
ITALIA	3,394
HOLANDA	2,283
AUSTRALIA	2,152
ESPAÑA	2,028
SUECIA	1,841
INDIA	1,643
SUIZA	1,640
CHINA	1,339
ISRAEL	1,074
BELGICA	1,059
DINAMARCA	0,962
POLONIA	0,913
TAIWAN	0,805
FINLANDIA	0,793
AUSTRIA	0,652
BRASIL	0,646
UCRANIA	0,578
NORUEGA	0,569
COREA DEL SUR	0,546
NUEVA ZELANDA	0,426
SUDAFRICA	0,415
GRECIA	0,411
HUNGRIA	0,398
ARGENTINA	0,352
[ESLOVAQUIA, REPUBLICA CHECA]	0,332*
MEXICO	0,332
EGIPTO	0,280
TURQUIA	0,243
BULGARIA	0,220
HONG KONG	0,205
PORTUGAL	0,201
SINGAPUR	0,179
CHILE	0,176
IRLANDA DEL NORTE	0,140
ARABIA SAUDI	0,129
VENEZUELA	0,093
TAILANDIA	0,086
[NIGERIA, KENIA]	0,073*
MALASIA	0,064
PAKISTAN	0,063
[RUMANIA, ESLOVENIA, CROACIA, BOSNIA-HERZEGOVINA, ALBANIA, MACEDONIA]	0,053*
PUERTO RICO	0,050
LIBANO	0,041
FILIPINAS	0,035
KUWAIT	0,034
[MARRUECOS, ALGERIA, LIBIA, TUNEZ]	0,033*
[LITUANIA, LETONIA, ESTONIA, BIELORRUSIA]	0,032*
[IRAN, IRAK]	0,030*
CUBA	0,029
ISLANDIA	0,029
JAMAICA	0,029
[MOLDAVIA, KAZAJSTAN, TAJIKISTAN, TURKMENISTAN, UZBEKISTAN, KIRGIZSTAN]	0,024*
[ZIMBABUE, SENEGAL]	0,024*
[JORDANIA, SIRIA]	0,021*
GEORGIA	0,021
[COLOMBIA, ECUADOR, PERU]	0,019*
SRI LANKA	0,019
TRINIDAD Y TOBAGO	0,013
[PARAGUAY, URUGUAY]	0,013*
INDONESIA	0,012
[NEPAL, MYANMAR, BANGLADESH]	0,012*
BAHRAIN	0,011
BOLIVIA	0,010
[MALI, NIGERIA, SUDAN, ETIOPIA, SOMALIA, GHANA, ZAIRE, CONGO, CAMERUN, UGANDA, TANZANIA, ZAMBIA, NAMIBIA, MOZAMBIQUE, BOTSWANA]	0,009*
[YEMEN, OMAN, U.A.E.]	0,008*
[GUATEMALA, HONDURAS, NICARAGUA, COSTA RICA, PANAMA]	0,007*
[CAMBOYA, LAOS, VIETNAM]	0,006*
[GABON, GAMBIA, BURUNDI, REPUBLICA CENTROAFRICANA, COSTA DE MARFIL, BENIN, RUANDA, TOGO]	0,005*
MONGOLIA	0,004
ISLAS VIRGENES	0,002
[HAITI Y REPUBLICA DOMINICANA]	0,001*
GROENLANDIA	0,001
BAHAMAS	0,000
AFGANISTAN	0,000

**Promedio para los países de este grupo.* *FUENTE:* Science Citation Index*; estudio de* INVESTIGACIÓN Y CIENCIA



1. LA CORRIENTE PRINCIPAL DE LA CIENCIA, vista a través de las astigmáticas lentes de las revistas de mayor influjo, da esta imagen coloreada del mundo. La tabla resulta del análisis de los artículos publicados en 1994 por unas 3300 revistas incluidas en el *SCI* (*Science Citation Index*), repertorio comercial muy utilizado por los investigadores. En el mapa, los países están pintados con distintos colores y matices según su participación en la denominada bibliografía científica internacional. Lo menos destacado y casi invisible de las naciones subdesarrolladas representa las penurias económicas y los prejuicios que sufren.

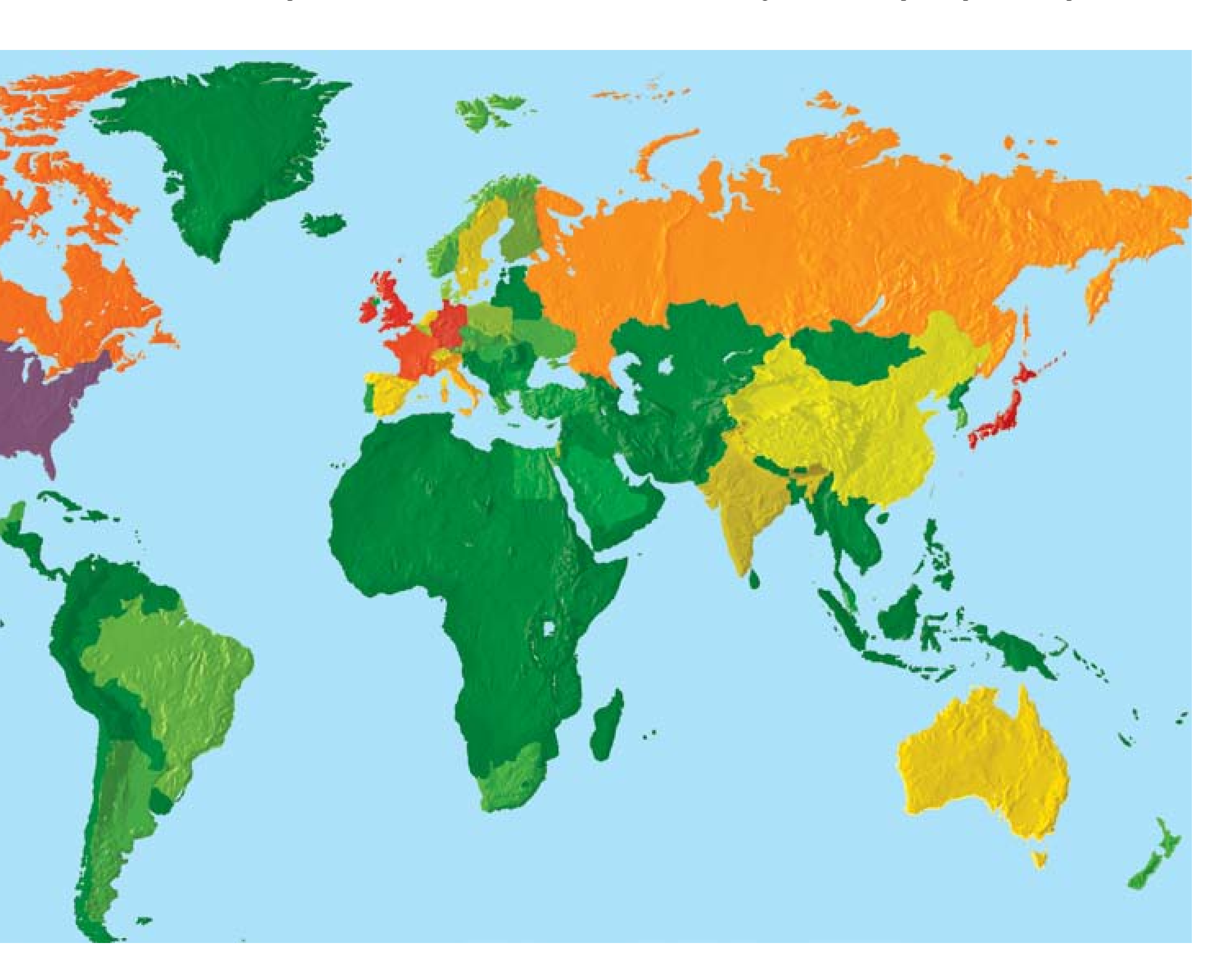
vos descubrimientos logrados en su campo de investigación y de decidir qué trabajos previos citar en sus propios artículos.

Por supuesto que hubo ciertas condiciones: para permanecer en el *SCI*, *Archivos* tenía que publicar sus entregas a tiempo, ofrecer resúmenes en inglés de sus artículos en español... y pagar 10.000 dólares por la suscripción al *Index*. Todo ello lo fue haciendo la revista hasta 1982. "Pero entonces —recuerda Benítez— sufrió nuestro país una terrible crisis económica, a resultas de la cual la publicación hubo de retrasarse seis meses." Aunque los editores explicaron la situación al ISI y les rogaron que tuviesen paciencia, la revista desapareció de esa base de datos.

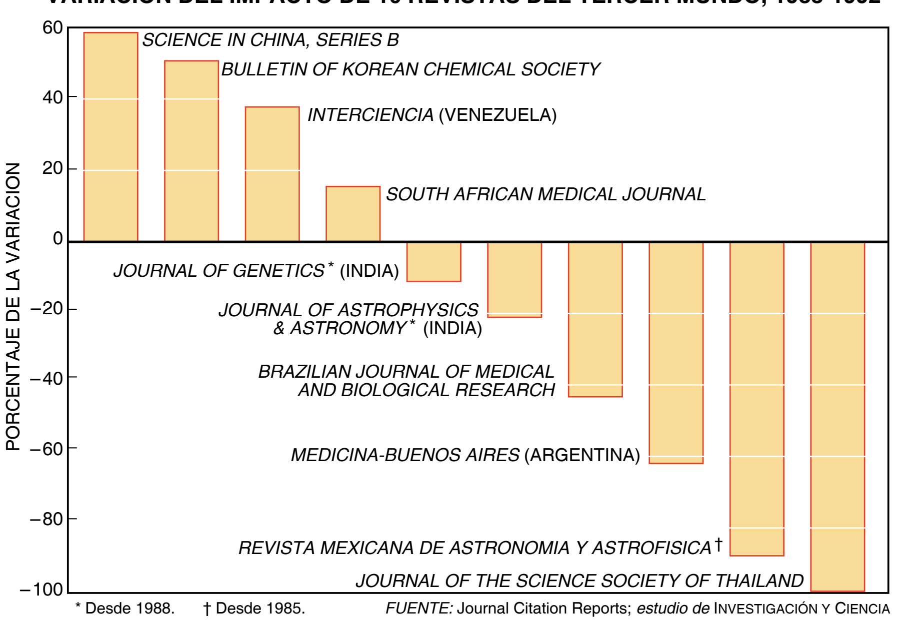
Desde aquellas fechas, la revista ha procurado hacerse tan interesante y atractiva como para que se la vuelva a admitir en círculo tan selecto: primero añadió traducciones íntegras al inglés de todos y cada uno de los artículos en español; luego dejó de publicar la versión castellana; por último, contrató a un editor estadounidense, insistió en que todos los autores escribieran en inglés para evitar errores de traducción y hasta cambió de nombre, pasando a titularse *Archives of Medical Research*. Entre tanto, la revista contó con un consejo editorial de investigadores mexicanos de primera fila y con un comité de revisión formado por 15 científicos estadounidenses, canadienses y europeos. En diciembre de 1994, la organización nacional mexicana de la ciencia dio a la revista su más alta calificación. Y a pesar de que, en enero, al devaluarse el peso, se encarecieron un 40 % los costos de publicación, este año *Archives* sacó su número del verano con un mes de adelanto.

"Pero ISI dice que aún no nos ajustamos a sus criterios", se lamenta Benítez. Le objetan que los científicos que figuran en su consejo editorial no han sido citados con suficiente frecuencia. (Gracias a bases de datos de citas como el *SCI*, a muchos investigadores se los clasifica ahora según el número de veces que sus artículos han aparecido enlistados en las referencias bibliográficas de otros artículos.) "Nuestro consejo editorial lo seleccionamos eligiendo a los 13 especialistas en biomedicina más prestigiosos de México", arguye Benítez. "¿Por qué se nos exige a nosotros un listón tan alto, siendo así que revistas estadounidenses de nueva creación, que anuncian en *Science* o en *Nature* que su primer número saldrá al público dentro de seis meses, pueden ya pregonar su inclusión en el *SCI*?"

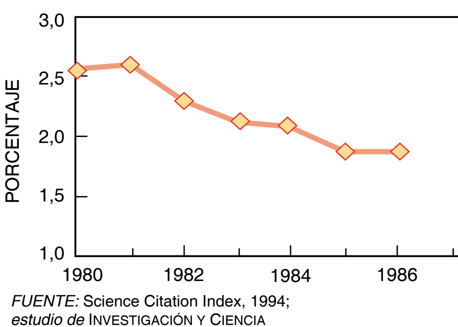
Benítez no está solo en su frustración. Muchos de los más de 100 científicos y editores de revistas entrevistados para este artículo denuncian la existencia de obstáculos estructurales y sutiles prejuicios que impiden a los investigadores de los países pobres compartir entre sí



Revistas del Tercer Mundo: de corrientes caudalosas a riachuelos



Aunque muchos países en vías de desarrollo han invertido más en investigación durante los últimos años, las revistas científicas del Tercer Mundo se las ven y se las desean para mantenerse dentro de la comunidad científica internacional. La fracción de esas revistas que figura entre las publicaciones recomendadas por el *SCI* ha disminuido un 40 % desde



y con el mundo industrializado sus descubrimientos. Aunque en los países en vías de desarrollo trabajan el 24,1 por ciento de los científicos del mundo entero y se gasta el 5,3 por ciento del dinero que en él se dedica a la investigación, la mayoría de las revistas principales publican muy escasas proporciones de artículos escritos por autores de esos países.

El ostracismo al que los principales canales de difusión de la ciencia están condenando a la mayor parte de la investigación que se realiza en el Tercer Mundo malogra los esfuerzos de los países pobres por potenciar sus propias revistas científicas y, con ello, se impide que mejore la calidad de la investigación allí donde más se necesita. Incluso puede que tal proceder prive al mundo industrializado de conocimientos muy importantes, observa Richard Horton, redactor jefe de *Lancet*. “Una de las causas —dice— de que proliferen enfermedades infecciosas tales como la que produce el virus Ebola es que, en los países subdesarrollados, los cambios económicos están poniendo en contacto a los humanos con ecosistemas hasta entonces aislados. Este proceso y sus efectos sólo podrán entenderse si se hacen públicos los trabajos de los investigadores locales.”

Aunque durante dos décadas apenas ha aumentado la proporción de lo que los países subdesarrollados aportan al cauce principal de la ciencia, varias iniciativas pueden contribuir a cambiar el panorama. Las Naciones Unidas han patrocinado tres índices comerciales de revistas del Tercer Mundo. Algunos países en vías de desarrollo premian a sus científicos que publiquen y a sus revistas que mantengan niveles de calidad.

Pero el cambio que parece más prometedor en la vertebración de los científicos del Tercer Mundo con los del Primero, a saber, el rápido auge de la comunicación científica dentro de la “Internet”, también puede aumentar lamentablemente el vacío de información que separa del resto del mundo a los países más pobres.

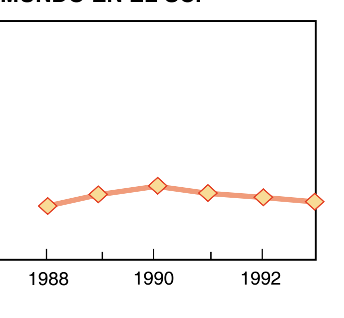
Dice Benítez que él seguirá solicitando al ISI la admisión en “el Club”, como a veces motejan en los países menos industrializados a la lista de las, así llamadas, revistas “internacionales”, la mayoría de las cuales se publican en EE.UU. y en la Europa occidental. Aunque es consciente de que sus probabilidades son escasas —el número de revistas del Tercer Mundo registradas en el *SCI* ha bajado de 80 en 1981 a 50 en 1993—, reconoce también que, mientras *Archives* no sea indexado, los trabajos que se publiquen en sus páginas tendrán pocos lectores.

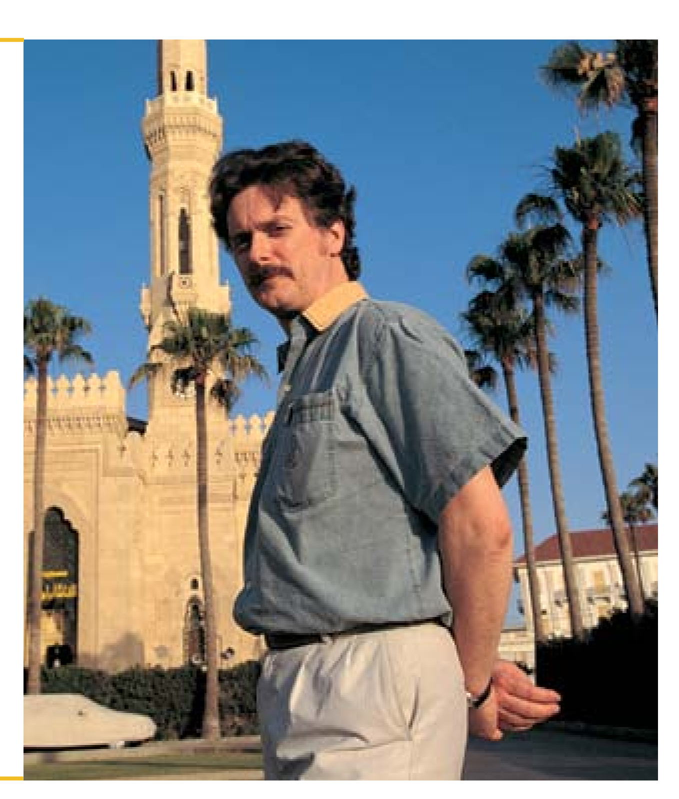
Rogerio A. Meneghini, de la Universidad de São Paulo, comprobó lo poco leídos que fueron los estudios publicados por 487 bioquímicos brasileños durante más de 15 años: cada uno de los artículos que enviaron a revistas internacionales fue citado un promedio de 7,2 veces; los enviados a revistas brasileñas, de las que sólo tres figuran en el *SCI*, sumaron como mucho la novena parte. Lo normal es ese ostracismo: el 70 por ciento de las revistas iberoamericanas no constan en ningún índice, según un censo realizado por Virginia Cano, del Colegio Queen Margaret de Escocia; con lo que, como ella dice, “están condenadas a llevar una existencia fantasmal”.

Puesto que los compiladores de los repertorios bibliográficos seleccionan las revistas que han de incluir en tales bases de datos partiendo de la frecuencia de citación, “es éste un círculo vicioso”, observa Benítez. “Nosotros no conseguimos ser muy citados, porque la revista, al no figurar en los índices internacionales, es poco conocida.”

Ni, prescindiendo de los repertorios bibliográficos, es opción el ir directamente a arrinconarse en los estantes de las bibliotecas, añade Christopher T. Zielinski, director de la información biomédica para el Sector del Mediterráneo Oriental de la Organización Mundial de la Salud. “Como las bibliotecas científicas de Occidente sólo adquieren revistas de gran impacto, nunca se suscriben a las que no se hallan dentro del mágico círculo del análisis de citas. Está claro que tenemos un sistema de revisiones y citas cerrado y autoperpetuante.”

1981. El factor impacto de algunas de las revistas más importantes de los países subdesarrollados experimentó un fuerte descenso durante los últimos diez años. (*A la derecha*, Christopher T. Zielinski.)





terios editoriales muy poco exigentes o no tienen ninguno en absoluto". En tan mediocre producción, como es sabido, "la pulcritud del método empleado y el conocimiento de la literatura científica por los autores rara vez se comprueban, porque entre nosotros escasean los revisores cualificados y porque la limitada accesibilidad de las revistas no anima a los expertos extranjeros a servir de revisores", dice Flor Lacanilao, ex rector de la Universidad de Filipinas en las Islas Bisayas. "Las revistas filipinas puede que incluso sean dañinas, por perpetuar en la investigación las malas prácticas. Aunque es duro reconocerlo, a través de ellas se derrochan muchos de nuestros fondos destinados a la investigación."

Tales acusaciones han promovido en el Tercer Mundo un debate sobre cómo fomentar y distinguir la buena ciencia, que demasiado a menudo se mezcla con la mala, y cómo compartirla tanto con los investigadores de otros países pobres como con los del "Club". "Resultados de la investigación, como son las lecciones aprendidas del Senegal y de Gambia sobre la eficacia —en el campo— de las vacunas oral e inyectable contra la poliomielitis, pueden hacer también al caso, por ejemplo, en el sur asiático", sugiere Esther K. Hicks, del Consejo Asesor para la Investigación Científica sobre Problemas del Desarrollo en Holanda. Pero esas lecciones, si es que llegan a publicarse, rara vez traspasan las fronteras nacionales.

Para cambiar este estado de cosas, varias instituciones han puesto en marcha con algún éxito programas de incentivación que premian a los científicos por publicar en revistas que someten sus artículos a la revisión de otros expertos. "En el Centro para el Desarrollo de las Pesquerías del Sudeste Asiático [SEAFDEC], introduje, para el ascenso profesional en 1986 y para la gratificación monetaria (el 50 por ciento del sueldo anual del investigador) en 1989, el requisito de publicar en revistas respaldadas por el ISI", informa Lacanilao. En 1993 el promedio de publicaciones por científico se había multiplicado por siete. Manuel Velasco, que dirige en Venezuela el Programa de Fomento de la Investigación, asegura que, desde que éste se inició en 1990, han aumentado en más de un 57 % los artículos que enlista el *SCI*. El organismo que financia en el Brasil la investigación, ofreciendo pingües subvenciones a los científicos que publiquen en revistas internacionales, ha visto

"El no figurar en el *SCI*, en el MEDLINE, en el INSPEC ni en otros repertorios parecidos es sólo un cruel resultado de la forma como trabaja la ciencia mundial", responde David A. Pendlebury, del ISI. Hace diez años, recuerda Eugene Garfield, ex presidente de la compañía, se desaprovechó una oportunidad de cambiar las cosas. "Yo auspicié —dice— una reunión en la que la Fundación Rockefeller y la norteamericana Fundación Nacional para la Ciencia (NSF) propusieron aportar los 250.000 dólares necesarios para introducir en nuestro Indice unas 300 revistas del Tercer Mundo. Me pareció una idea estupenda. Sin embargo, ni la Rockefeller ni la NSF ni ningún otro organismo llegaron a dar los fondos para indexar las revistas adicionales." Pero se apresura a añadir: "Si se descubre algo realmente importante [en un país subdesarrollado], se lo introduce en las revistas más destacadas que figuran en nuestro Indice."

Benítez y otros entendidos ponen en tela de juicio esta última afirmación. "Fijémonos, por ejemplo, en el cólera", dice Benítez. "Precisamente ahora está aumentando su incidencia en México. Nuestros expertos han hecho investigaciones interesantes sobre los nuevos brotes. Las revistas internacionales rechazan nuestros artículos porque no consideran que el cólera sea tema de gran interés. Pero, ¿qué ocurrirá si esos brotes traspasan la frontera y se expanden por Texas y California? ¡Entonces sí que les parecerá un asunto importante! Mientras tanto, el conocimiento generado acerca de la enfermedad habrá sido inútil, pues los científicos no podrán encontrar los artículos publicados en las revistas mexicanas por no figurar éstas en los repertorios de prestigio."

"Es igualmente de vital importancia —señala Horton— que los países en vías de desarrollo se comuniquen unos a otros sus investigaciones. Y es una injusticia que los investigadores [del Tercer Mundo] carezcan de vías por las que intercambiar ideas con la infraestructura médica."

No todas las revistas locales pueden desempeñar con competencia esta función. Obviamente. "Muchas no merecen, desde un punto de vista científico, ser publicadas", apunta Manuel Krauskopf, bioquímico de la Universidad de Chile, que viene analizando desde hace años las publicaciones iberoamericanas. "Hemos de afrontar el hecho de que algunas revistas, con su escasa calidad, desacreditan este quehacer."

Según K. C. Garg, del Instituto Nacional de Estudios Científicos, Tecnológicos y del Desarrollo de Nueva Delhi, sólo un 20 por ciento de las más de 1500 revistas que se publican en la India cuentan con revisores externos y aparecen con regularidad. Meneghini informa que "casi todas las cerca de 400 publicaciones científicas brasileñas tienen unos cri-

cuadruplicarse desde 1980 el número de artículos escritos por brasileños que trabajan en colaboración con colegas de los EE.UU. o de Europa.

Pero los sobresueldos pueden acarrear ciertos inconvenientes. “Estos incentivos, de suyo deseables, pueden también generar una investigación mezquina, ‘unidades de mínima publicabilidad’ [articulillos producidos estirando un solo hallazgo] y trabajos redundantes sin otra mira que lograr su publicación”, advierte Teodora Bagarinao, del SEAFDEC. Ya en las Filipinas se ha dado el caso de que dos científicos publiquen en una revista dos artículos esencialmente idénticos. “Otro problema”, dice Enrique M. Avila, biólogo marino de la Universidad de Filipinas en Cebú City, “es el de la publicación de materiales anticuados. Conozco dos o tres casos recientes en los que los investigadores obtuvieron la buscada gratificación publicando, con meros retoques y adaptaciones, datos de los años setenta.”

Más preocupante aún es lo que advierten algunos: que, al dar preferencia a los artículos publicados en las revistas internacionales —en el Brasil, en Sudáfrica, en las Filipinas y en España a esos artículos se los califica con el doble de puntos que a los publicados en las revistas nacionales—, los programas incentivadores quizá condenen a las revistas nacionales a estar para siempre de sobra. Hebe Vessuri, socióloga de la ciencia en el Instituto de Investigaciones Científicas de Venezuela, recuerda una sesión de la UNESCO en la que se analizó el punto flaco de las revistas iberoamericanas. Los especialistas concluyeron que “esas publicaciones estaban encerradas en un círculo vicioso: si las revistas nacionales no adquirían prestigio ni su circulación internacional aumentaba era porque los científicos iberoamericanos publicaban en el extranjero los mejores resultados de sus investigaciones, pero los investigadores iberoamericanos publicaban fuera porque las revistas de sus naciones no eran capaces de hacer llegar tales resultados al mundo científico”.

Aquella sesión se celebró en 1964. En 30 años, nota Vessuri, poco ha cambiado, excepto que el enorme auge y la especialización de los saberes hacen cada vez más atractivas las publicaciones extranjeras. Benítez reconoce que hasta los doctores del consejo editor de *Archives* envían casi un 70 % de sus trabajos a revistas enlistadas en el *SCI* y que se publican en EE.UU. o en Europa.

Un apunte bibliométrico para España

El caso español ilustra algunas de las dificultades de los países en vías de desarrollo para situar su producción científica en las revistas de mayor visibilidad. Como consecuencia de políticas de estímulo a la investigación en las universidades, hospitales y centros públicos de investigación, la producción científica española registrada en la base de datos del Science Citation Index (*SCI*) publicada por el Institute for Scientific Information (ISI) ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos tres lustros, lo que le ha conducido a multiplicar por un factor de 3,4 su participación en las publicaciones mundiales registradas en el *SCI* (0,6 % en 1981, 2,03 % en 1994).

Sin embargo, un análisis pormenorizado del impacto y visibilidad internacional de las publicaciones de procedencia española revela que no todo es de color de rosa en el mercado de la información científica. Efectivamente, utilizando los indicadores puestos a punto por Eugene Garfield y publicados anualmente en el *Journal of Citation Report* (JCR) es posible conocer la visibilidad media de las revistas de publicación y el impacto medio de los artículos procedentes de un determinado país o grupo de países, tal como muestra el cuadro adjunto, construido a partir de datos tomados de T. Braun, H. Maczelka y A. Schubert, del ISSRU, Budapest (*Scientometrics*, vol. 25, n.º 2, págs. 211-217, 1992).

Los instrumentos básicos de análisis son el factor de impacto de las revistas de publicación y las citas reales recibidas por un determinado artículo de dicha revista. El factor de impacto se calcula promediando las citas recibidas por cada artículo de la revista en cuestión, por lo que también se conoce como tasa de citas esperadas. Dado que las citas que recibe un artículo se relacionan con la cantidad de lectores y la calidad e interés de su contenido, el factor de impacto puede considerarse como un indicador de visibilidad de la revista de publicación, equivalente a las cifras de audiencia de los medios de comunicación, aunque más refinado; efectivamente, la cita de un artículo de otro autor en una publicación científica implica no sólo su lectura, sino también el reconocimiento a alguna idea o metodología encontrada en aquél (las cosas no son tan lineales; el patrón de citas está influido marcadamente por el “efecto san Mateo”). En cualquier caso, el resultado final es que el factor de impacto permite clasificar las revistas de cada especialidad científica en una jerarquía en la que todos los autores

Indicadores bibliométricos por regiones geopolíticas en el período 1980-1989

GRUPO DE PAISES	Nº	Número de publicaciones	Tasas de citas esperadas	Tasas de citas observadas	Impacto relativo
OCDE Grandes	7	2.949.604	7,04	7,20	1,02
OCDE Medianos	9	403.491	5,81	6,11	1,05
OCDE Pequeños	9	123.666	5,35	5,19	0,97
Europa del Este	7	450.561	1,94	1,64	0,84
Asiáticos	11	156.630	2,98	1,73	0,58
Iberoamericanos	11	47.582	4,60	2,94	0,64
España		41.502	4,17	3,03	0,73

Los entes científicos nacionales de Brasil y de México intentan ahora romper el círculo vicioso clasificando debidamente sus revistas y dando todo su apoyo a las de más alta calidad. En Brasil, la evaluación inicial tachó de irrelevantes al 83 % de las que se publicaban en el país. En algunos campos las cosas se hacían peor que en otros: de las revistas de agricultura hubo que eliminar menos del 7 %. En México, actuándose de manera similar, el año pasado fueron calificadas de "excelentes" 20 revistas. El *SCI* informa sobre dos de ellas.

Cuando muchas de las mejores revistas de los países en vías de desarrollo quedan excluidas, "la participación de un 2 % en el discurso científico internacional permitida por los servicios de indexación occidentales es, simplemente, demasiado pequeña para dar cuenta del 80 por ciento de la producción científica mundial", escribía Zielinski en el editorial del *British Medical Journal* del pasado mes de junio. "Esto es sobre todo cierto en campos como el de la medicina, donde las enfermedades no respetan fronteras, especialmente con el aumento de los viajes en avión y con el rebrote de enfermedades contagiosas como el sarampión y la tuberculosis. Sobre estas patologías hay en las revistas nacionales información detallada, e incluso única sobre el sida, biodiversidad en los trópicos y medicina tradicional."

Bajo la dirección de Zielinski, la OMS ha formado un consorcio de editores de 223 revistas médicas, casi todas de países subdesarrollados. Este consorcio, con la firma británica Informania, comenzó en julio pasado a producir un índice CD-ROM mensual llamado ExtraMED, que contiene más de 8000 imágenes de páginas enteras barridas de los últimos números de las revistas. Al precio de 750 dólares para los suscriptores del Tercer Mundo (el doble en los países ricos), la base de datos resulta mucho más asequible que el *SCI*, pues los 10.990 dólares que cuesta éste lo ponen fuera del alcance de casi todas las bibliotecas de las zonas pobres. (ISI ofrece a veces descuentos a los clientes de estas regiones sin recursos.)

Como los beneficios se repartirán entre las revistas participantes y dado que los investigadores no tendrán que pagar derechos por sacar de los casetes copias de los artículos, "probablemente este recurso proporcionará mucho del estímulo —y del dinero— que se necesita para mejorar la calidad de las revistas", dice Zielinski. "Esperamos introducir en el cauce principal de la bibliografía científica

aspiran a situarse. Y, en la medida en que aumenta la oferta de artículos para publicar, así también aumentan los criterios restrictivos de los editores y de sus asesores científicos. El resultado final es que las revistas de mayor factor de impacto acaban siendo inaccesibles a la mayoría de los mortales, por razones que tienen que ver no sólo con criterios de calidad y originalidad, sino también con los grupos de interés trenzados alrededor de "mandarines de la ciencia".

A su vez, los datos suministrados por el *SCI* permiten contar las publicaciones procedentes de un determinado país y período de tiempo por revistas de publicación con su factor de impacto. A partir de estos datos es posible obtener por cálculo aritmético sencillo el promedio de citas esperadas (también denominado factor de impacto medio) por las publicaciones del país en cuestión. Cuanto mayor es el valor de este indicador, mayor será la visibilidad de la revistas de publicación utilizadas por la comunidad científica del país en cuestión. Así, Estados Unidos, la mayor potencia científica del mundo con más un millón y medio de publicaciones en el período 1980-1989, presenta la mayor tasa de citas esperadas por artículo (8,28). Sin embargo, la antigua Unión Soviética, segunda potencia científica por el número de publicaciones, presenta una tasa de citas esperadas de tan sólo 1,41 por artículo; lo que indica que los autores rusos sitúan sus publicaciones en revistas de escasa visibilidad internacional.

Las citas reales recibidas por un artículo no coinciden necesariamente con las esperadas a partir del factor de impacto de la revista de publicación. De ahí que el cociente entre citas observadas y las esperadas dé lugar a un nuevo indicador (factor de impacto relativo) que tiene que ver más directamente con propiedades intrínsecas del artículo en cuestión. Un factor de impacto relativo igual o superior a 1 indicará que el artículo —o conjunto de artículos en el caso de agregados por país y período de tiempo— tiene una calidad igual o mayor que las revistas de publicación. Por el contrario, un factor de impacto relativo inferior a 1, es sugerente de una calidad inferior a la media de la revista de publicación (aunque aquí también puede influir el "efecto San Mateo", premiando con más citas al autor más citado).

Media un gran abismo entre países miembros de la OCDE y grupos pertenecientes a las áreas geopolíticas del subdesarrollo en términos de indicadores bibliométricos. Aquéllos sitúan sus publicaciones en revistas de mayor visibilidad (o calidad) y reciben un número de citas acorde con el factor de impacto de las revistas de publicación, lo que da lugar a índices de impacto relativo próximos a la unidad. Por el contrario, los países en vías de desarrollo sitúan sus publicaciones en revistas de menor visibilidad internacional y reciben un número de citas inferior a lo esperado, de forma que el índice de impacto relativo se sitúa muy por debajo de la unidad.

Lo peculiar de España es que, perteneciendo al grupo de países de economía mediana en el conjunto de la OCDE, presenta unos indicadores bibliométricos similares a los del conjunto de los 11 países incluidos en el bloque de Iberoamérica. De esta forma, aunque España ocupa la posición 12ª por su participación en la producción científica mundial censada en el *SCI*, el impacto relativo de sus publicaciones la relega a la posición 38ª. Y lo que es peor, la posición mundial española en este indicador ha empeorado con respecto a los valores correspondientes al período 1980-84 (datos correspondientes al período 1980-89 tomados de Braun et al, *Scientometrics*, vol. 29, n.º 3, págs. 299-334, 1994). Esto quiere decir que el aumento espectacular en el número de publicaciones internacionales de procedencia española no se ha acompañado de un aumento correspondiente en su visibilidad e impacto. A este resultado ha podido contribuir una disminución real de la calidad intrínseca de las publicaciones como consecuencia de las políticas de estímulo basadas en el mandato "¡Publica o perece!" que conduce a la fragmentación de los resultados en sus "mínimas unidades publicables" y a la dispersión de grupos de trabajo y autores. Aunque tampoco hay que descartar una influencia del "efecto remite", que influye tanto en los criterios editoriales como en los hábitos de citas.

ANGEL PESTAÑA

las revistas sanitarias de los países subdesarrollados.” Y no sólo las sanitarias: Informania ha firmado acuerdos con la FAO para producir un similar CD-ROM de 500 revistas de agricultura y con la UNESCO para crear un *ExtraSCI* que abarcará 500 publicaciones de todos los campos de la ciencia y la tecnología.

Admite Zielinski que el mercado del Tercer Mundo puede ser limitado durante algún tiempo, porque menos de una por cada 10 de sus bibliotecas posee ordenador, y menos aún lector de CD-ROM. Pero el índice puede ayudar a que la ciencia procedente de los países pobres llame la atención de los investigadores estadounidenses y europeos. Y el sistema de búsqueda del disco está programado para registrar qué artículos son leídos y notificar esta estadística al consorcio. “Con lo cual”, escribía Zielinski, “quizá pueda empezarse a reparar algunas de las injusticias de la indexación y del análisis de citas.”

Semejante optimismo tal vez sea prematuro. Muchos investigadores del Tercer Mundo —aproximadamente la mitad de los entrevistados para este artículo que se prestaron a comentar el tema— están convencidos de que es más probable que los editores y los revisores de las revistas de prestigio rechacen un artículo procedente de alguna institución de un país subdesarrollado que otro que proceda de un país desarrollado. Y lo más grave, dicen, es que, aun cuando sus artículos aparezcan en revistas importantes, sus colegas nórdicos tienden a ignorar su trabajo o a citar artículos escritos en fechas posteriores por científicos norteamericanos o europeos que se aprovecharon de aquel trabajo suyo.

“En Africa y en Asia se oye decir que hay en su contra un tremendo prejuicio, mientras que la mayoría de los norteamericanos y de los europeos rechazan esa imputación”, observa Subbiah Arunachalam, que estudia el éxito publicístico de los científicos en el Instituto Central de Investigación sobre Electroquímica. “Yo mismo he oído ese alegato, y la verdad es que no me conmueve”, replica Floyd E. Bloom, director de *Science*. “En revistas de gran calidad en las que he sido director o revisor, siempre que es posible nos preocupamos mucho de ayudar a la ciencia que nos viene de los países subdesarrollados.”

Estadísticamente escasean las pruebas del prejuicio de los revisores, porque para reunirlas habría que seguir la pista de todos los artículos rechazados por una revista y ver cuántos

Proceso de edición científica

Los científicos, al crear teorías, siguen a menudo procedimientos de eliminación. No es, pues, extraño que las revistas científicas seleccionen de igual modo sus artículos. Pero parece ser que, en su celo por depurar la corriente principal apartando de la misma la investigación deficiente, directores y revisores facilitan que en las retículas de sus filtros queden atrapados los trabajos remitidos desde el Tercer Mundo.

A la revista *Science*, por ejemplo, le han ido llegando desde 1991 casi el doble de artículos que los que recibía antes, enviados por autores que investigan en una docena de los países subdesarrollados científicamente más prolíficos. Con todo, el año pasado la revista aceptó sólo el 1,4 % de esos materiales, igual que en 1991. Cifra que contrasta con la publicación del 21 % de los firmados en los EE.UU.

Science no es la excepción. Las revistas punteras en la mayoría de los campos publican mucho menos del 5,3 % de los artículos que cabría esperar como fruto de la fracción de lo que de las inversiones mundiales en investigación se gasta en los países menos desarrollados [*véase la tabla inferior, a la derecha*].

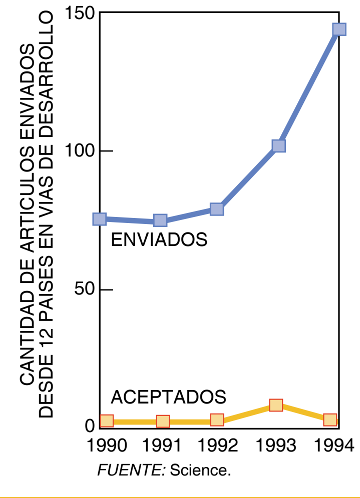
Muchos editores creen que esta escasa representación refleja con exactitud la poca calidad de la ciencia de las naciones pobres. “En los países en desarrollo la ciencia ambiental se está quedando atrás de la del resto del mundo, tal como era previsible”, dice William H. Glaze, director de *Environmental Science and Technology*. “No sólo está anticuada, sino que a veces está, francamente, no muy bien hecha. La documentación es escasa, y la experimentación no satisface nuestras exigencias.”

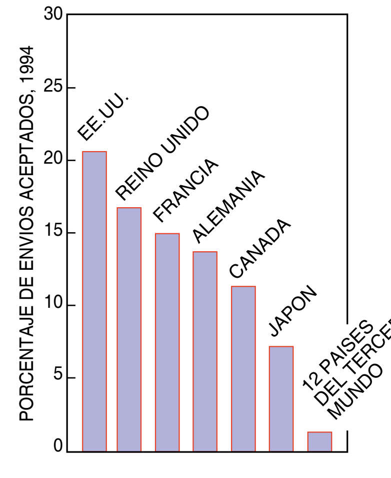
Los autores del Tercer Mundo, notan los jefes de redacción, andan a la greña con el lenguaje. “Si ves que unas personas cometen multitud de errores ortográficos, sintácticos y semánticos”, dice Floyd E. Bloom, director de *Science*, “no puedes menos de preguntarte si, al hacer su trabajo científico, no incurrirían también en parejo desaliño.” Sin embargo, resulta curioso que la tasa de aceptación para artículos procedentes de la India, donde tanto se habla el inglés, aún tienda a ser muy inferior a las registradas para los artículos franceses y alemanes.

Algunos editores creen que el mundo científico se enriquecería si se prestase mayor atención a la ciencia que se hace en el Tercer Mundo. Unos cuantos están tratando de dar mayor cabida a ese caudal de investigación en sus revistas sin bajar sus patrones de exigencia. “Estamos muy interesados en ayudar a todos los científicos ambientales del mundo, y está claro que nosotros no somos todos”, reconoce Glaze. Así que él está reclutando a científicos retirados que, como mentores, ayuden a los no anglohablantes a preparar sus manuscritos para la publicación.

Richard Horton, director de *Lancet*, mantiene un criterio parecido. En su calidad de presidente de la Asociación Mundial de Directores de Revistas Médicas, Horton está formando una red mundial de investigadores que ayudará a los editores de revistas médicas del Tercer Mundo a establecer procesos de análisis y revisión de los

ARTICULOS ACEPTADOS POR *SCIENCE*





FUENTE: Science.

ARTICULOS ESCR

CAMPO
MATEMATICAS
INGENIERIA
SILVICULTURA
AGRICULTURA
FISICA
OCEANOGRAFIA
ZOOLOGIA
BOTANICA
QUIMICA
BIOLOGIA
CIENCIA DEL AMBIENTE
CIENCIA EN GENERAL
MEDICINA
CIENCIA EN GENERAL
BIOQUIMICA
ECOLOGIA

trabajos. Confía en que tal red sensibilice también a los editores de las revistas internacionales sobre las diferencias culturales que suelen confundirse con falta de tono científico.

No a todos les complace esta idea. Jerome P. Kassirer, redactor jefe del *New England Journal of Medicine*, ha rehusado hacerse socio, porque asegura que ese grupo enfoca indebidamente el asunto. El sugiere que a los países en vías de desarrollo habría que darles directrices sobre nutrición e inmunización antes que sobre publicaciones médicas. “Los países muy pobres tienen muchas más cosas por las que preocuparse que por el hacer investigación de alta calidad”, dice. “En ellos no existe la ciencia.”

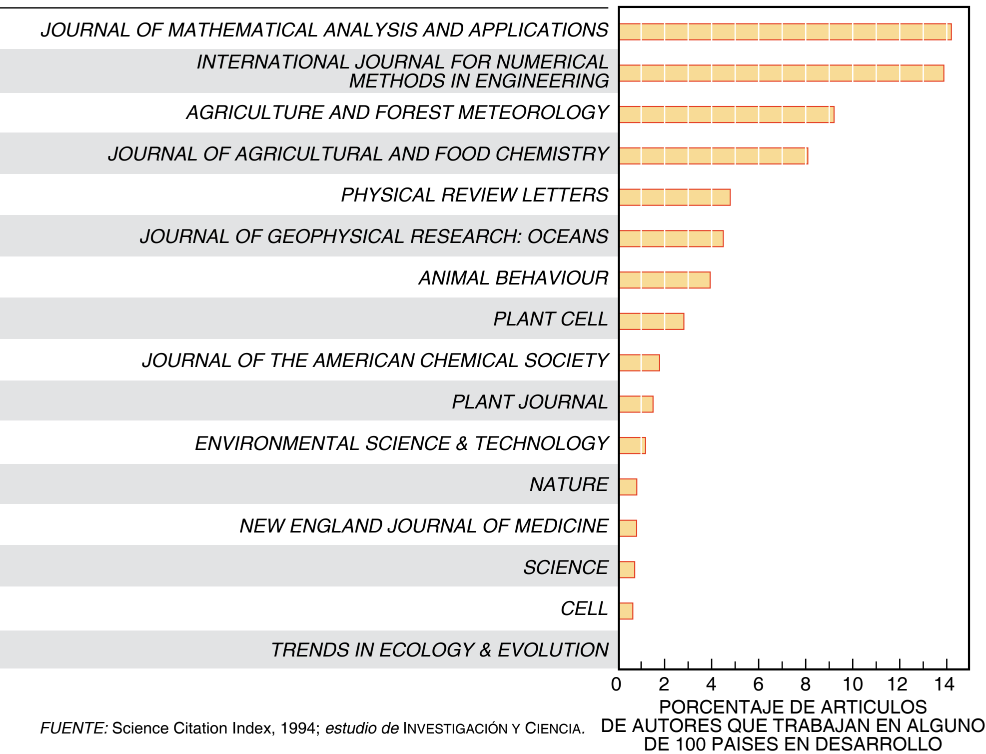
Sin embargo, un editorial de la revista de Kassirer encomiaba el pasado mayo un estudio, realizado por médicos del Instituto de Investigaciones Médicas de Kenya, en el que se exponía un modo más sencillo y exacto de diagnosticar la malaria, enfermedad que se cobra más de 3000 víctimas diarias. El avance propuesto contribuirá a salvar la vida de muchos pacientes de malaria, de los que el 90 % son niños africanos. “Me apena mucho oír que alguien que ocupa un puesto de tanta responsabilidad [como el de Kassirer] haga ese tipo de comentarios”, responde Horton. El que la ciencia de los países en desarrollo sea infrarreconocida —dice—representa “lo peor del etnocentrismo”.

Las tasas de aceptación en *Lancet* y en *New England Journal of Medicine* reflejan las diferencias de opinión de sus editores. *Lancet* aceptó el año pasado alrededor del 8 % de los trabajos que le enviaron desde países en desarrollo, mientras que *New England Journal* no pasó del 2 %.

La mentalidad editorial quizás explique también por qué de todos los artículos que *Forest Science* publicó el año pasado más de un 20 % procedían de países subdesarrollados. Bill Hyde, el anterior director de la revista, había trabajado en naciones pobres. “Aprendí a tratar a sus científicos igual que solía tratar a mi vecino de al lado”, dice. “Mi vecino es horticultor, no economista. Si le tratase como a un estúpido porque no sabe lo que yo, no podría beneficiarme de su formación, y cuanto pueda yo hacer sobre la economía de los manzanos lo más probable es que sea totalmente incorrecto; en cambio, si reconozco que él tiene buenos conocimientos que sólo son distintos de los míos, entonces los dos podemos complementarnos. Pensando así, podrás ir a cualquier parte.”

—*Brenda DeKoker*

RITOS POR AUTORES DEL TERCER MUNDO EN VARIAS REVISTAS PRINCIPALES, 1994



los acepta después otra de igual categoría. “Es como saber que tu esposa te es infiel y no tener medios de probarlo”, musita sarcásticamente un investigador sudamericano. Con todo, algunos científicos muy prestigiosos afirman que el prejuicio existe.

“Para mí es indiscutible que en las mentes de algunos revisores occidentales se alberga cierto prejuicio respecto a los autores del Tercer Mundo”, dice C.N.R. Rao, presidente en Bangalore del Centro Jawaharlal Nehru para la Investigación Científica Avanzada. “Los revisores tienden a creer que en un país subdesarrollado no se puede trabajar como es debido. Yo vengo publicando desde hace 40 años en las principales revistas del mundo y todavía hoy he de soportar algún prejuicio de los revisores. Esto no es infrecuente.”

Algunos científicos que se han trasladado desde países industrializados a otros en vías de desarrollo han sufrido en su piel que el cambio de dirección postal modifica la apreciación de los revisores. “Cuando residía en Boston, podía yo publicar artículos en el *American Journal of Pathology* al lado de los de un par de renombrados patólogos norteamericanos”, dice Benítez. “Entraban en máquinas sin ningún problema. Después me fui a la Universidad de Bonn, y publiqué dos artículos en *Nature*. Volví luego a México con más experiencia y madurez. Pero ahora, cuando envío artículos a esas mismas revistas, me son rechazados inmediatamente.”

“La calificación que recibimos de los revisores de las principales revistas de biología es espantosa”, comenta Wieland Gevers, bioquímico de la Universidad de Ciudad del Cabo. “Huele a primermundismo. No parece sino que esperen de nosotros más aún que de los investigadores norteamericanos o europeos.”

Hay casos, asegura Gevers, en los que esto retrasa la publicación de resultados importantes, en referencia a “tres grandes adelantos que recibieron la debida atención cuando los presentamos a revistas de campanillas”. El primero fue el descubrimiento de que la droga anticancerígena azacitidina-5 podía dirigir el desarrollo de ciertas células embrionarias en tejido muscular o en tejido adiposo, a tenor de las condiciones; los otros dos concernían al metabolismo de las partículas de lipoproteína de baja densidad que hay en nuestro cuerpo. “Estos artículos” —denuncia Gevers— “tuvieron que ir de la ceca a la meca

antes de ser por fin aceptados, aunque los editores reconocían que el trabajo estaba bien hecho.”

Otros muchos artículos, en especial los que versan sobre ciencias aplicadas, a las que los países subdesarrollados destinan la mayor parte de sus fondos para la investigación, quizá no logren ninguna audiencia entre los investigadores de primera línea. “Veo un problema peligroso a largo plazo en el prejuicio del mundo académico contra la investigación aplicada”, dice George F. R. Ellis, cosmólogo de la Universidad de Ciudad del Cabo. “Hay una especie de ley del más fuerte que pone en lo más alto a la física teórica y en lo más bajo a la aplicada. Pero lo que realmente les conviene a los investigadores del Tercer Mundo es dedicarse más a las ciencias aplicadas”, arguye Ellis. “A la comunidad científica internacional le incumbe la responsabilidad de reconocer los resultados que sean de alta calidad.”

Ese reconocimiento incluye el que te citen quienes roturan el mismo surco. Pero, tras examinar las publicaciones de 207 científicos que investigan en Asia, en Iberoamérica y en Africa, Jacques Gaillard, del ORSTOM, la agencia francesa de ayuda internacional, llegó a la conclusión de que los científicos de los países subdesarrollados “están atrapados en un círculo especialmente vicioso, pues aun cuando sus hallazgos se publiquen en revistas científicas prestigiosas e influyentes, son, a fin de cuentas, citados con mucha menos frecuencia que los de sus colegas [de los países desarrollados].”

Según Meneghini, los artículos brasileños, por ejemplo, se citan un 60 % menos de veces que los artículos norteamericanos de la misma revista. Estudios de las frecuencias de citación para otros países en desarrollo reflejan parecidos porcentajes. “Más que un prejuicio, es una especie de fenómeno sociológico”, sentencia.

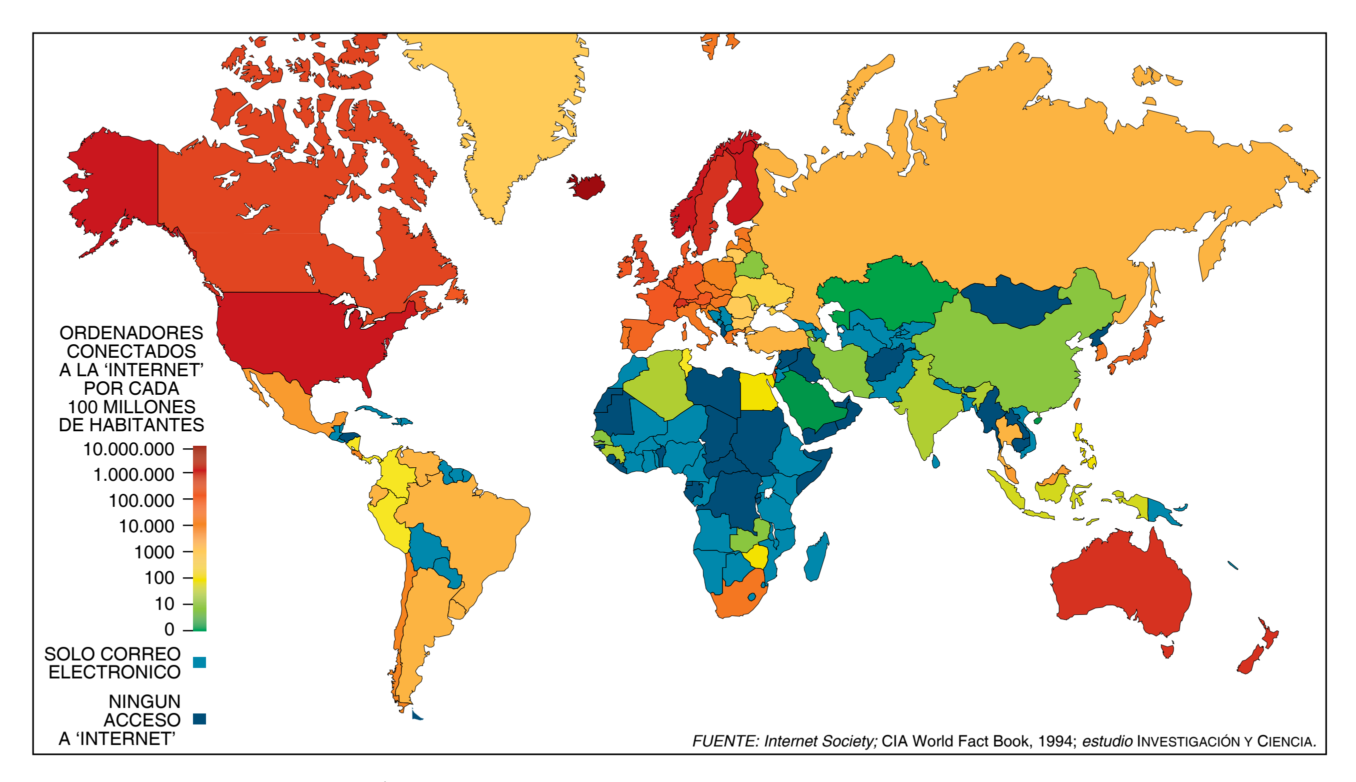
Ciertamente, ya en 1968 hizo notar Robert K. Merton que se tiende a atribuir el mérito de un descubrimiento al más famoso de los investigadores relacionados con él y no al que auténticamente se lo merece. En un artículo clásico publicado en *Science*, llamó Merton a este fenómeno “el efecto san Mateo”, por aquel pasaje del Evangelio de San Mateo que dice: “Al que tiene se le dará... pero a quien no tiene, aun lo que tenga se le quitará.”

Observa Rao que el “efecto san Mateo” no es infrecuente, ni siquiera con los trabajos hechos en países avanzados, pero al investigador de un país en vías de desarrollo le perjudica más, porque éste trabaja con mayores dificultades. Hay trabajos que cuesta muchos años completarlos, y el no obtener, al fin, ningún reconocimiento resulta enojoso y frustrante.

Algunos científicos del Tercer Mundo sospechan que, más que el “efecto san Mateo”, opera en esto la malicia. Pushpa Mittra Bhargava recuerda un artículo que publicó no hace mucho en el *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*. “Un buen día recibí una separata de un autor europeo. [Su artículo describía] mi trabajo sobre un microbio diferente, eso sí... pero sin citar para nada mi publicación. Una nota añadida a la separata decía: ‘Disfruté leyendo el trabajo de usted’. Con esto debía quedar yo servido”, dice Bhargava, fundador y director del Centro de Biología Celular y Molecular de Hyderabad, en la India.

Para reducir el “efecto san Mateo”, algunas revistas han empezado a quitar los nombres y lugar de trabajo de sus autores antes de enviar los artículos a los revisores, proceso conocido como “valoración a ciegas”. Gevers cree que “este procedimiento nivelaría mucho el campo de juego y remediaría gran parte de los males del sistema”.

Aunque varios estudios controlados han puesto de manifiesto que la valoración a ciegas puede mejorar ligeramente la calidad de los artículos de una revista, hasta ahora nadie ha exa-



2. LA INTERNET MUNDIAL está transformando la comunicación científica. Pero esta red ha tardado en introducirse en el Tercer Mundo, dejando a muchos investigadores de las naciones pobres aislados.

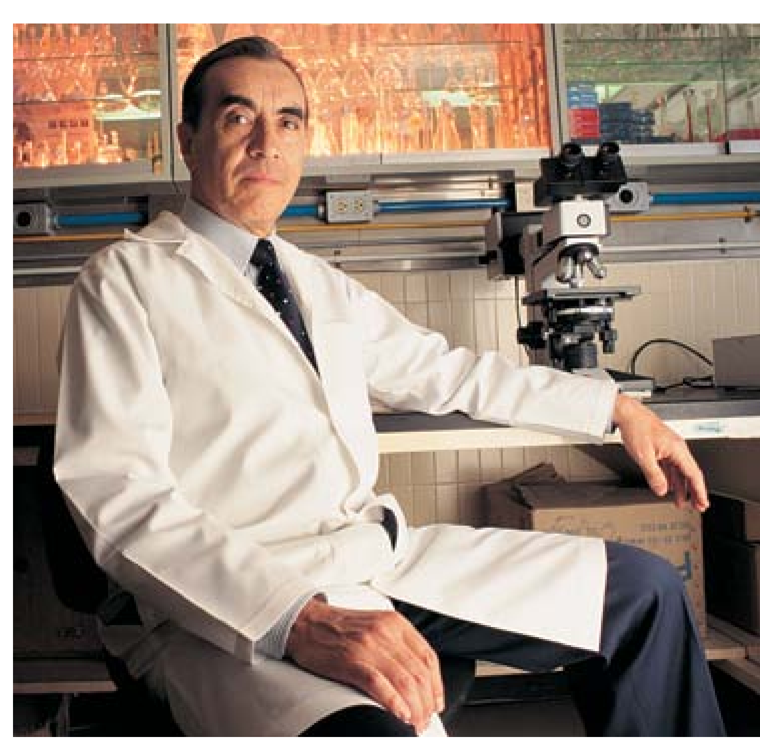
minado su efecto sobre los trabajos que se envían desde los países retrasados.

También ayudaría el simple invitar a las tareas de crítica y valoración a científicos de los países subdesarrollados, sugiere Arunachalam. Pero la lentitud de los sistemas de correos y la poca fiabilidad de las líneas de *fax*, defectos de los que aún adolecen tantos países pobres, dificultan esta solución. "Una de nuestras preocupaciones es con qué rapidez podríamos hacerles llegar artículos y con cuánta podrían ellos respondernos", señala Bloom, de *Science*, revista que no cuenta con revisores fuera de los EE.UU., Europa y Japón.

El encauzamiento de los principa- les canales de la publicación científica hacia Internet promete liberar de su aislamiento a los científicos que investigan en el Tercer Mundo. "Al no existir o al retrasarse tanto la circulación de revistas científicas [en los países subdesarrollados], el de la comunicación electrónica puede ser un vínculo vital para mantenerse en contacto con colegas, intercambiar datos y acceder a las prestaciones de ordenadores remotos", observa Michael Jensen, de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

En esto estuvo de acuerdo un grupo de 13 selectísimos expertos comisionados por el Director General de la UNESCO Federico Mayor Zaragoza. En un informe emitido el verano de 1994, sugirieron que la UNESCO garantizara el pleno acceso de los científicos de todos los países a la Internet, a un precio económico —hasta arrendando tales servicios si fuese necesario. El grupo urgió también a la UNESCO a promover "en el mundo entero un rápido cambio hacia la publicación electrónica".

Pero a algunos les preocupa que lo primero no pueda la UNESCO hacerlo y que para lo segundo no se la necesite. Impulsada por las fuerzas del mercado y en virtud de la capacidad de la Internet para reproducir datos y simulaciones que, por ser demasiado complejos o demasiado dinámicos, no caben en una página, la comunicación científica se está introduciendo ya rapidísimamente en este sistema. Entre tanto la UNESCO todavía no ha podido hacer que a muchas bibliotecas del Tercer Mundo les lleguen con seguridad las revistas y los repertorios bibliográficos más imprescindibles. Conectar a todos los investigadores a la Internet quizás esté fuera del alcance de la UNESCO... y hay quienes se temen que esté también fuera del de los gobiernos nacionales, sobre todo en Africa y en las partes más pobres de Asia.



3. EL REMITE puede ser causa de que te discriminen, dice Luis Benítez-Bribiesca. Revistas muy importantes aceptan con menos frecuencia sus artículos desde que regresó de Europa a México.

En esas zonas, las líneas telefónicas son demasiado raras, inseguras y costosas como para que puedan soportar la rapidísima comunicación requerida por las aplicaciones de la Internet. En todo el continente africano, apunta Jensen, hay menos teléfonos que en sólo Manhattan. Quienes en Africa solicitan hoy que se les instale un teléfono pasan a una lista de espera formada por 3,6 millones de solicitantes; en las regiones subsaharianas la espera suele durar unos nueve años.

La enorme escasez de recursos impone elevados precios. Según una encuesta hecha en 1993, en cinco países africanos de diferentes zonas el precio medio de una llamada telefónica al extranjero era de 5 dólares por minuto —en algunas regiones los *faxes* cuestan 30 dólares por página. En comparación, el sueldo medio de un profesor universitario es de unos 100 dólares mensuales. Así, aunque la mitad de los países africanos pueden ofrecer un servicio diario de correo internacional por lo menos a algunos investigadores, los arrendamientos de líneas de acceso a la Internet —capaces sólo de soportar mínimas fluencias de datos y a costes que llegan a los 65.000 dólares anuales— son raros y, probablemente, seguirán siéndolo por algún tiempo.

"El gran peligro es que la Internet origine en el mundo entero una clase empobrecida que no pueda tener acceso a los sistemas de información", advierte Martin Hall, arqueólogo de la Universidad de Ciudad del Cabo que colabora a menudo con investigadores de otras partes de Africa. "Dentro de cinco años trataremos con revistas en su mayor parte no impresas, informatizadas. Ahora ya muchos investigadores africanos dependen de la caridad para adquirir sus revistas impresas; las informatizadas estarán completamente fuera de su alcance. Africa ha escaseado de dirección académica en muchas zonas, y tal escasez se irá agravando por esta creciente falta de información."

A no ser que se le ponga fin. Tres compañías —AT&T Submarine Systems, Alcatel y FLAG— han propuesto, cada una por separado, rodear Africa con un cable de fibra óptica submarino que conectaría con la Internet a todos los países costeros. Lo que no está claro es si habrá suficiente demanda, o cuándo la habrá, para cubrir los costes de tan ingente proyecto —entre los 2000 y los 6000 millones de dólares. Pero si se hace realidad, puede que reanime a los científicos de ese continente, los cuales, como dice Amy A. Gimbel, director del Programa de Desarrollo del Africa Subsahariana en la Asociación para el Avance de la Ciencia, "se encuentran abatidos y desmoralizados".

El posibilitarles la comunicación con los científicos de los países ricos y con los de los demás que comparten sus ventajas, para presentar sus descubrimientos, participar en diálogos y colaborar en experimentos, sí que es un círculo que habría que calificar, sin duda, de virtuoso.

Ciencia y empresa

Reactores de agua a presión

Vigilancia y análisis en línea

En toda central nuclear una de las operaciones más delicadas es la recarga del combustible del núcleo del reactor, junto con la vigilancia de su comportamiento durante la operación de la central. Los sistemas de análisis y seguimiento del núcleo están basados en equipos de medida existentes dentro de la vasija del reactor, dentro y fuera del núcleo; se fundan también en sistemas de cálculo por computador que modelan las situaciones reales que se dan en el núcleo y suministran una información sobre los parámetros de operación. Aquí vamos a referirnos a uno de estos sistemas desarrollado en nuestro país y que se encuentra operando en línea, desde hace un año y medio, en Vandellós II.

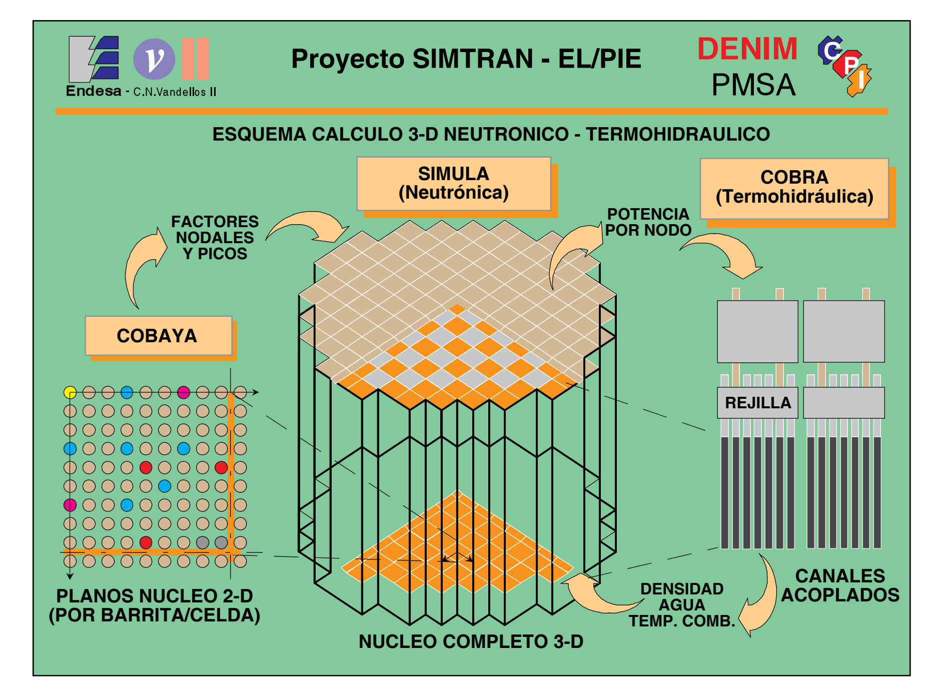
El Sistema Español de Análisis de Núcleos de Agua a Presión (SEANAP) está basado en programas y métodos de cálculo desarrollados por José M.ª Aragonés y Carolina Ahnert, de la Universidad Politécnica de Madrid, bajo los auspicios del Plan de Investigación Eléctrico (PIE), en colaboración con UNESA, ENDESA y las centrales de Vandellós, Ascó, José Cabrera y Almaraz. Este sistema de computación sirve para optimar las recargas de combustible, que se realizan periódicamente en las centrales nucleares con reactores del tipo de agua a presión. Permiten, además, analizar el diseño del núcleo del reactor en estado estacionario o en maniobras y transitorios operacionales, es decir, cuando cambia algún parámetro que incide de forma importante en el funcionamiento del reactor.

El sistema SEANAP se ha aplicado en los últimos 10 años a unos 60 ciclos de operación de seis centrales nucleares españolas. Se entiende por ciclo cada período de operación de la central que transcurre entre las recargas de combustible, normalmente de 12 a 18 meses. Los resultados obtenidos han sido muy próximos a los valores de las medidas durante las pruebas físicas y en la operación real, lo que ha confirmado la validez del sistema como herramienta propia e independiente para el análisis del diseño del núcleo.

Recientemente se ha desarrollado en el sistema SEANAP un código avanzado de cálculo en tres dimensiones de las principales variables que afectan al comportamiento neutrónico y termohidráulico del núcleo del reactor, cálculo que toma en consideración todas sus interrelaciones físicas. Se han creado, asimismo, modelos minuciosos para determinar de antemano las respuestas de los instrumentos de medida de las variables físicas del núcleo, incluidos los alojados en el interior de la vasija del reactor, como termopares y minidetectores de flujo neutrónico móviles, y los localizados fuera de la vasija, que miden valores medios o globales de forma continua. Se consigue así un doble objetivo: facilitar las calibraciones de la propia instrumentación y de los efectos físicos importantes; y disponer de una contrastación directa y continua de la fidelidad del cálculo, para analizar y corregir, en su caso, las desviaciones sistemáticas.

Este código simulador transitorio en línea (SIMTRAN-EL) se autoejecuta regularmente, siguiendo las condiciones reales de operación del núcleo a través de una interfase de adquisición en línea de los datos suministrados por el ordenador de proceso de la central nuclear. El SIMTRAN-EL proporciona, además, los resultados físicos del núcleo a través de una interfase gráfica de usuario flexible. (La implantación informática se ha realizado en estaciones de trabajo HP-9000/715 y 735, bajo Unix HP-UX-9.5. Los códigos principales utilizan Fortran-77 y las interfases de adquisición y gráfica C y X11R5, con procedimientos de ejecución e intercambio de datos en C-shell y Posix, enlazando con el ordenador de proceso y los puestos multiusuarios a través de red local Ethernet bajo TCP/IP y X11R5.)

El disponer en línea de este sistema de cálculo proporciona un conocimiento completo y continuo del estado tridimensional del núcleo del reactor, en forma numérica y gráfica. Podríamos asimilarlo a una radiografía en tiempo real de un sinfín de datos, que podremos agrupar en tres apartados: variables neutrónicas (potencia de fisión, quemado del combustible, productos de fisión importantes) y termohidráulicas (temperaturas del agua, vaina y combustible; caudales, densidades y márgenes térmicos e hidráulicos) en el interior del núcleo y vasija del reactor; variables



medidas y parámetros de interés para la vigilancia de la operación del reactor, dentro de los márgenes previstos por el diseñador y recogidos en las especificaciones técnicas de funcionamiento.

El sistema computacional del SIMTRAN-EL está sometido a los requisitos de calidad, fiabilidad, mantenimiento y calibración característicos del entorno técnico de las centrales nucleares, aunque no tan exigentes como para los sistemas clasificados de seguridad, dado su mero carácter de apoyo e información a la ingeniería y operación.

El sistema SIMTRAN-EL posee también capacidades predictivas. En ese sentido, permite planear de forma rápida y óptima, en cuanto a seguridad y economía se refiere, las maniobras de operación; por ejemplo, las bajadas de carga o nivel de potencia de operación, arranques y paradas programadas, para recarga de combustible o inspecciones, y no programadas, y pruebas para la medida de ciertos parámetros del núcleo o para la calibración de la instrumentación. Las predicciones se realizan en paralelo, a partir del estado en línea, mediante menús simplificados que permiten seleccionar la evolución prevista del nivel de potencia. El código busca automáticamente la trayectoria óptima del sistema de control, inserción de las barras de control, con mínimas boraciones-diluciones en el refrigerante primario, dentro de los límites y requisitos de seguridad e incluso mejorando los márgenes.

Las barras de control contienen el material fuertemente absorbente de neutrones que controla la reacción en cadena y, por tanto, se utilizan en el arranque y la parada del reactor, así como para cambiar el nivel de potencia. Los cambios en la concentración del ácido bórico disuelto en el refrigerante (boraciones-diluciones) acompañan a los movimientos de las barras de control para mantener la criticidad del conjunto. Los operadores disponen de información gráfica de los resultados de la predicción, conjuntamente con la evolución posterior de la operación real; la predicción se va actualizando en el curso de la maniobra. Gracias a tal capacidad anticipativa, se obtienen mejoras tangibles en la operación del reactor, amén de simplificar y garantizar la viabilidad de la maniobra dentro de las especificaciones técnicas, al tiempo que se reducen al mínimo los residuos radiactivos de baja actividad generados en las boraciones-diluciones del primario.

En síntesis, las funciones o modos de operación del simulador en línea son: vigilancia continua en línea del núcleo, calibración de la instrumentación externa al núcleo, contrastación de los mapas de flujo medidos periódicamente con los minidetectores móviles intranucleares, evaluación de los márgenes térmicos (factores de pico, flujos críticos y temperaturas máximas de combustible y vaina), seguimiento y proyección nominal del quemado del ciclo, predicción de criticidad y maniobras operacionales, diagnosis y prognosis de transitorios rápidos y oscilaciones.

El simulador en línea se implantó en la central nuclear de Vandellós II en junio de 1994, al principio de su séptimo ciclo de operación. Funcionó en fase de prueba y desarrollo durante todo ese ciclo anual, calculando el estado tridimensional del núcleo del reactor cada 5 minutos, siguiendo la operación real. En julio de 1995, se actualizaron las bases de datos para el octavo ciclo de operación, en fase ya de aplicación final. La predicción detallada de la maniobra de arranque y subida a potencia ha contribuido a su realización en forma rápida, segura y sin requerir ninguna adición de boro al primario.

El sistema SIMTRAN-EL se encuentra ya en la fase final de calificación, documentación y formación de los técnicos y operadores de la central, para su uso como herramienta de apoyo a la ingeniería y operación del núcleo del reactor. Se ha iniciado el estudio de su próxima implantación y utilización en las centrales de Ascó I y II y Almaraz I y II. También se contempla su adaptación a las restantes centrales de agua a presión españolas José Cabrera y Trillo, así como su exportación internacional.

JOSÉ M.ª ARAGONÉS, CAROLINA AHNERT, DAVID MARTÍNEZ, JUAN SALADÍE, PABLO MORENO, MARIANO MARTÍN
Universidad Politécnica de Madrid, Central Nuclear de Vandellós y PMSA

Alcoholismo

Alteración del metabolismo

El consumo elevado de alcohol se asocia a diversos trastornos orgánicos, como la cirrosis hepática, ciertos tipos de cáncer, diversas patologías neurológicas y un largo etcétera, donde destaca, por su elevada incidencia, la patología metabólica ósea, en particular la osteoporosis. Es ésta una enfermedad ósea, caracterizada por una reducción en la cantidad de hueso y un deterioro en su microarquitectura, que compromete la integridad biomecánica del esqueleto y conlleva un mayor riesgo de fracturas.

El tejido óseo sufre un recambio constante que lo hace vulnerable a muchos procesos intercurrentes. Está formado por un componente celular y una matriz proteica. El componente celular lo constituyen los osteoblastos, que son las células formadoras de hueso, y los osteoclastos, que reabsorben hueso; ambos procesos, formación y reabsorción, se producen de forma sincronizada, recibiendo el nombre de remodelado óseo. La matriz ósea consta principalmente de colágeno tipo I (90 %) y de otras proteínas no colágenas. Cualquier proceso que altere esta dinámica, ya sea por un aumento en la reabsorción o por una disminución de la formación ósea, podrá conducir al desarrollo de una osteoporosis.

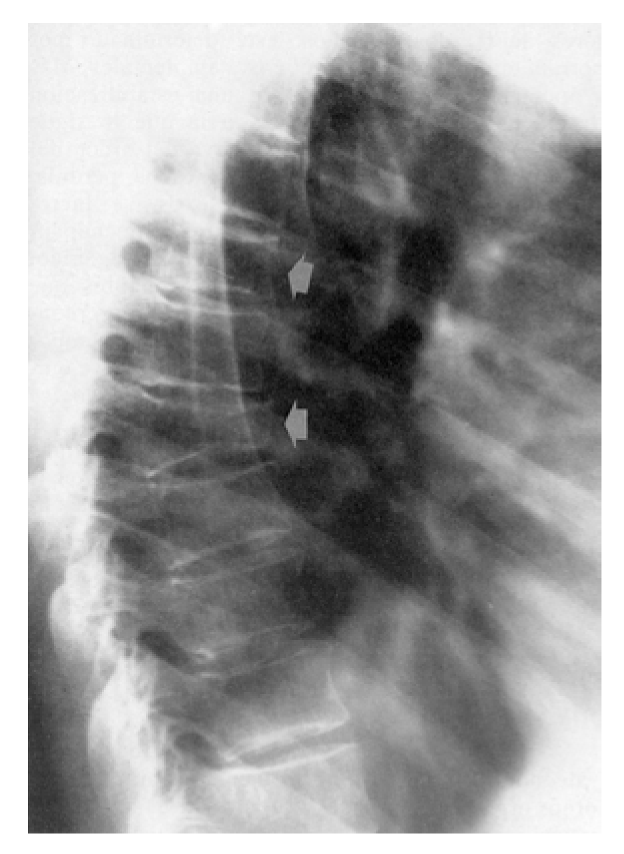
La masa ósea de un individuo adulto depende de la cantidad máxima que ha alcanzado con el crecimiento, llamado "pico de masa ósea", y de la pérdida que posteriormente se produce con la edad. El "pico de masa ósea", que se alcanza alrededor de los 30 años, está determinado por factores genéticos y ambientales. Más tarde se produce una estabilización de la masa ósea, a la que le sigue una pérdida progresiva del orden del 0,5 % al 1 % anual; dicha pérdida, similar en ambos sexos, se incrementa en la mujer tras la menopausia debido al déficit estrogénico. Existen, además, otros factores que pueden aumentarla y, por tanto, conducir al desarrollo de una osteoporosis. La ingesta alcohólica, por ejemplo, aumenta la pérdida ósea fisiológica en más de un 50 %.

El consumo de bebidas alcohólicas en nuestro medio es tradicionalmente muy elevado, y nos sitúa entre los primeros del mundo. Más del 50 % de la población española consume bebidas alcohólicas y el 7 % consume más de 75 gramos de alcohol puro al día, que es la cantidad de alcohol que identifica a la población de riesgo para el alcoholismo. Además, el consumo alcohólico suele iniciarse antes de los 12 años y bajo influencia familiar. A la vista de estos datos, es fácil deducir que, en España, la incidencia de cualquier patología derivada del consumo alcohólico es alta.

Los pacientes alcohólicos desarrollan con frecuencia fracturas óseas que afectan el esqueleto axial y periférico. Estas fracturas son, en parte, secundarias a los traumatismos que presentan y, por otro lado, están favorecidas por una disminución de la masa ósea. De hecho, el 80 % de los pacientes que entra en un servicio de urgencias por accidentes y traumatismos ha consumido alcohol el mismo día, y 1/5 parte de los accidentes laborales están relacionados con el alcohol, lo que puede ayudar a explicar que los pacientes alcohólicos sufran cuatro veces más fracturas que la población general y que la ingesta alcohólica sea uno de los principales factores de riesgo en la fractura proximal de fémur. Sin embargo, aparte del mayor riesgo de traumatismos, estos pacientes también presentan una disminución de la masa ósea. La prevalencia de osteoporosis en el alcoholismo crónico oscila entre un 23 % y un 79 %. Se considera que la ingesta elevada de alcohol es una de las causas más frecuentes de osteoporosis en el varón.

Por el contrario, la presencia de osteomalacia, enfermedad metabólica ósea que se caracteriza por una alteración de la mineralización ósea y se asocia frecuentemente a un déficit de vitamina D, no suele darse en este proceso. Se han descrito tan sólo casos aislados de osteomalacia en alcohólicos con otras patologías asociadas, como la desnutrición o hepatopatía severas, o bien el antecedente de una intervención gástrica.

La causa de la osteoporosis alcohólica no está del todo aclarada. Se ha sugerido un efecto directo del alcohol sobre el hueso, pero en estos pacientes existen múltiples factores que a su vez pueden asociarse al desarrollo de osteoporosis y dificultan la valoración del efecto directo que pueda ejercer el alcohol sobre el hueso. Entre estos factores destacan: desnutrición, malabsorción intestinal o hepatopatía crónica, hipogonadismo, déficit de vitamina D, hipercortisolismo, variaciones en los niveles de paratohormona e incluso alteraciones de la función tubular renal. Sin embargo, aunque estos procesos pueden asociarse al consumo alcohólico y a su vez al desarrollo de osteoporosis, ninguno de ellos se ha relacionado claramente con la presencia de osteoporosis en estos pacientes. Todo ello sugiere que, aunque la osteoporosis en el alcoholismo crónico puede tener un origen multifactorial, con frecuencia sólo se asocia al consumo alcohólico.



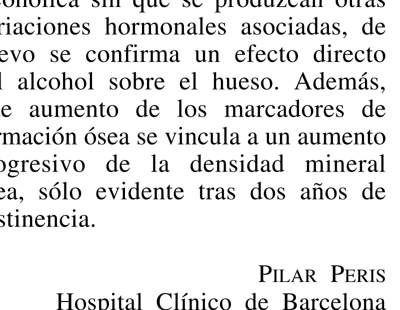
Fracturas vertebrales en un paciente con osteoporosis alcohólica

El efecto directo del alcohol sobre el hueso constituye posiblemente uno de los factores más importantes en el desarrollo de osteoporosis de estos pacientes. Estudios "in vitro" han demostrado que el alcohol produce una depresión de la proliferación y de la función osteoblástica, probablemente mediante una alteración en la permeabilidad de la membrana celular. Este efecto depende de la dosis de alcohol, y es en ocasiones bifásico: a dosis bajas aumenta la proliferación celular, mientras que a dosis altas la inhibe. Estudios "in vivo", en los que se han realizado biopsias óseas con análisis histomorfométrico, han confirmado gran parte de estos resultados; en la mayoría de estos estudios se observa una disminución de la formación ósea, sin que tengan lugar otras alteraciones hormonales u orgánicas asociadas.

No está tan claro el efecto sobre la reabsorción ósea. Se ha apreciado, indistintamente, una reabsorción baja, normal e incluso aumentada. Otros estudios en los que se ha valorado la actividad ósea de forma indirecta, esto es, mediante la determinación de los marcadores bioquímicos del recambio óseo, han mostrado resultados similares. Los marcadores bioquímicos del remodelado óseo son componentes que provienen, en su mayor parte, del metabolismo del calcio y del colágeno, así como de los índices de actividad celular; permiten valorar la formación y reabsorción ósea mediante su determinación en sangre u orina. En la mayoría de los estudios se observa una disminución de los valores de osteocalcina plasmática con la ingesta crónica de alcohol (la osteocalcina es una proteína no colágena sintetizada por el osteoblasto y relacionada con la formación ósea), lo cual sugiere un efecto inhibidor del alcohol sobre la actividad osteoblástica. Sin embargo, la ingesta aguda de alcohol no altera los niveles de osteocalcina, lo que indica que el efecto del alcohol, para que sea tóxico, debe ser persistente.

Igual que ocurre en otros tejidos, existe una correlación inversa entre la dosis acumulada de alcohol y la masa ósea. Los individuos con mayor cantidad y tiempo de ingesta alcohólica son los que tienen una masa ósea más baja. Lo que viene a confirmar el hecho de que algunos estudios sólo hayan demostrado una disminución de masa ósea en los pacientes con más de diez años de ingesta enólica. Aunque se desconoce la dosis mínima de alcohol capaz de alterar el metabolismo óseo, podría depender de la edad y el sexo, entre otros factores.

Importa destacar que la inhibición de la formación ósea por el alcohol desaparece a los pocos días de cesar la ingesta. Puesto que se normalizan los marcadores séricos de recambio óseo tras dos semanas de abstinencia alcohólica sin que se produzcan otras variaciones hormonales asociadas, de nuevo se confirma un efecto directo del alcohol sobre el hueso. Además, este aumento de los marcadores de formación ósea se vincula a un aumento progresivo de la densidad mineral ósea, sólo evidente tras dos años de abstinencia.



PILAR PERIS
Hospital Clínic de Barcelona

Juegos matemáticos

Ian Stewart

La partida interminable

Todos los aficionados al ajedrez saben que ciertas partidas se estancan: ninguno de los jugadores parece capaz de vencer, no es posible hacer nada constructivo y tampoco se ve la forma de ponerle al juego el punto final. Si nadie acepta unas tablas, el juego podría continuar indefinidamente. En previsión de tales situaciones, los organismos que establecen las normas del ajedrez han propuesto diversas reglas que obliguen a las partidas a tener fin. La norma clásica estipula que la partida será declarada tablas si uno de los jugadores demuestra que se han efectuado 50 movimientos por bando, que no se ha dado jaque mate, que no se han capturado piezas y que no se ha movido ningún peón.

Empero, recientes análisis computarizados han demostrado que tal regla no es suficiente. Hay finales de partida en los que un jugador puede imponer su victoria después de más de 50 jugadas, sin capturar piezas y sin que se hayan movido los peones. Por tanto, las leyes del ajedrez deben especificar ciertas situaciones excepcionales. Cualquier ley que limite el número de jugadas permisibles en determinadas circunstancias corre los mismos riesgos que la original, por lo que sería buena cosa afrontar el problema desde una perspectiva diferente.

Cierta variante sugería que la partida habría de terminar en caso de repetirse tres veces seguidas una misma secuencia de jugadas, en las que las piezas ocupasen las mismas posiciones. (No debemos confundir esta propuesta con la regla habitual de que si la misma posición se repite tres veces, el jugador de turno puede reclamar tablas: tal norma no obliga al jugador a exigirlas.) Se podría defender con razón que cualquier infracción de esta regla de las tres posiciones seguidas tendría que dar fin al juego. La cuestión es saber si existen partidas sin sentido que no la infrinjan.

¿Podría una partida de ajedrez proseguir indefinidamente sin llegar al jaque mate y sin repetir tres veces seguidas la misma sucesión de jugadas? El ajedrez es bastante complicado, así que cualquier matemático digno de tal nombre procurará simplificar el problema. Supongamos que nos centramos en sólo dos jugadas posibles, representadas por 0 y 1. ¿Puede una secuencia de ceros y unos proseguir interminablemente, de modo que ningún bloque finito se repita tres veces seguidas?

Resulta que existen muchas formas de producir tal secuencia, a la que llamaré secuencia "sintriple". Marston Morse y Gustav A. Hedlund inventaron la primera secuencia sintriple mientras investigaban un problema de dinámica. Se parte de un solo 0. A continuación se escribe la secuencia complementaria (en la que cada 0 se convierte en 1 y viceversa), que en este caso se reduce a 1, por lo que se obtiene 01. A continuación de 01 se anota la secuencia complementaria, 10, y así sucesivamente. De esta forma se construye una sucesión infinita como

0
01
0110
01101001 ... etc.

Esta sucesión es una auténtica secuencia sintriple, pero la demostración es delicada. Fijémonos, por tanto, en otra secuencia sintriple para la cual la demostración es algo más sencilla. Su descripción requiere alguna terminología. Recordemos que los números pares son múltiplos de 2, o sea, son de la forma $2m$ para cierto valor de m, mientras que los números impares son una unidad mayores que un múltiplo de 2, o sea, de la forma $2m+1$. Nos hacen falta descripciones similares para los múltiplos de 3. Diremos que un número es "tiple" si es múltiplo de 3, o sea, igual a $3m$; que es "soprano" si excede en una unidad a un múltiplo de 3, o sea, si es de la forma $3m+1$; y que es "bajo", si es una unidad menor que un múltiplo de 3, o sea, igual a $3m-1$. Cada número entero es tiple, soprano o bajo. Cuando un número pertenece al tipo soprano, diremos que m es su precursor. Por ejemplo, $16=(3\times 5)+1$ es soprano, y su precursor es 5, que es bajo.

Utilizando esta terminología, podemos preparar la receta de una secuencia en la que nunca se repite un bloque tres veces seguidas:

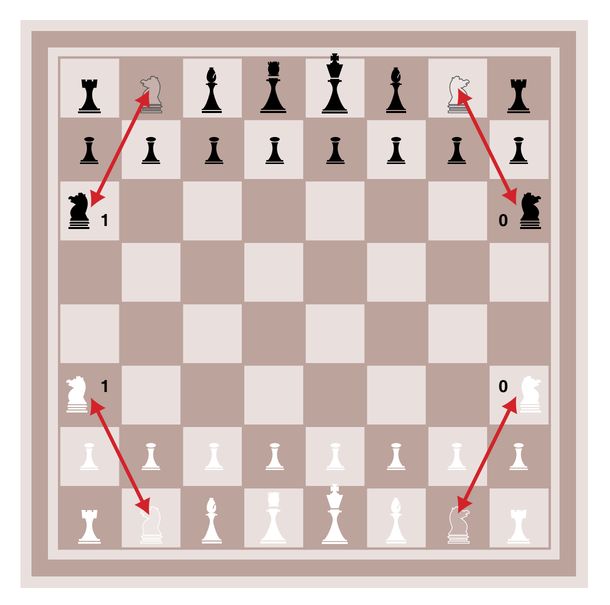
Regla 1: El primer término es 0.

Regla 2: El n-ésimo término de la secuencia es 0 si n es tiple

Regla 3: El n-ésimo término de la secuencia es 1 si n es bajo

Regla 4: Si n es soprano y su precursor es m, el n-ésimo término de la secuencia es igual al m-ésimo término.

Las tres primeras reglas nos dicen que la sucesión va siendo 010*10*10*10*10..., en la cual el bloque *10 se repite indefinidamente, aunque los



Partida interminable, en la cual los caballos saltan adelante y atrás entre dos cuadros. Los símbolos 0 y 1 muestran los términos correspondientes en la "sucesión coral sin tiples"

huecos señalados con el asterisco todavía no están determinados. La cuarta regla nos permite calcular de forma progresiva los huecos señalados. La posición 4, por ejemplo, es la misma que su precursora, que es igual al primer término de la sucesión, o sea, 0. La posición 7 es la misma que su precursora, que es igual a la segunda entrada, o sea, 1, y así sucesivamente. Dado que los precursores son menores que sus correspondientes sopranos, se calcularán primero sus valores, por lo que la regla 4 determina todos los asteriscos.

Las reglas anteriores conducen a la que he llamado "la secuencia coral": 010 **0**10 **1**10 **0**10 **0**10 **1**10 **0**10 **1**10 **1**10 **0**10 **0**10 **1**10. He agrupado los términos en tríos, destacando en negrita los sopranos para mostrar con mayor claridad la estructura. La secuencia coral tiene la curiosa propiedad de que los términos soprano reproducen exactamente la secuencia coral. Hay en esta secuencia muchas repeticiones dobles —en los primeros 18 términos, por ejemplo, la secuencia 010010110 figura dos veces— pero ningún bloque se repite tres veces.

¿En qué contribuye todo esto a resolver el problema de la partida interminable? En el ajedrez, después de todo, las jugadas posibles son muchas más de dos, y si se eligen dos (por ejemplo, avanzar el peón de rey y mover tres cuadros hacia adelante la torre del rey), no está nada claro que vayan a ser movimientos lícitos.

Supongamos que ambos jugadores se limitan a mover adelante y atrás uno u otro de sus dos caballos [*véase figura*]. Según su posición, cada caballo dispone, ora del movimiento de salida, ora el de retroceso. Supongamos que los jugadores se valen de la secuencia de ceros y unos para decidir sus jugadas, conviniendo en que 0 representa "mover el caballo del rey" (CR) y 1 sea "mover el caballo de la dama" (CD), como sigue:

0 las blancas mueven CR (salida)
1 las negras mueven CD (salida)
0 las blancas mueven CR (regreso)
0 las negras mueven CR (salida)
1 las blancas mueven CD (salida)
0 las negras mueven CR (regreso)

No es lo que se dice una partida apasionante, pero cada una de las jugadas es lícita. Y a causa de su relación con la sucesión coral, este juego prosigue indefinidamente sin que se repita nunca tres veces seguidas una misma serie de jugadas. Todavía más: de hecho, no se repite la misma secuencia de piezas (CR o CD) tres veces seguidas. Por tanto, si se busca una ley ajedrecística sin poro alguno que obligue a poner punto final a las partidas sin objeto —una ley que sea invulnerable aunque los jugadores se pongan de acuerdo para jugar estúpidamente— la vieja propuesta de las tres series no funciona.

Este problema concreto es causa de que los matemáticos se planteen preguntas similares acerca de las series de símbolos. ¿Existe una secuencia de ceros y unos que no repita nunca un bloque dos veces seguidas? ¿Cambiará la respuesta si es lícito utilizar más símbolos, como 0, 1 y 2? Aunque ello no vaya a cambiar las leyes del ajedrez ni producir jugadores más diestros, los aficionados a las matemáticas recreativas seguramente pasen ratos amenos traduciendo estas preguntas a sus equivalentes ajedrecísticas.

Ningún bloque se repite tres veces

Demostrémoslo. Representemos por 0 y 1 a los sucesivos términos de la serie coral y digamos que el *n*-ésimo término es tiple, bajo o soprano si también *n* lo es. Hay cinco casos que considerar:

Primero, ningún dígito individual se repite tres veces seguidas, porque en tres términos consecutivos cualesquiera tiene que haber tanto un tiple como un bajo, distintos por definición.

Segundo, ningún bloque de dos dígitos se repite tres veces seguidas, porque seis términos consecutivos cualesquiera contienen un bloque de la forma 0*1. Ni 010101 ni 101010, que son las únicas repeticiones posibles, figuran en la sucesión coral.

Tercero, si un bloque de tres dígitos se repite tres veces, contendrá tres términos soprano cuyos precursores son todos iguales y consecutivos, lo que está descartado por el primer caso.

Cuarto, si un bloque cuya longitud es cierto múltiplo de 3 —sea ésta *k*— se repite tres veces, un razonamiento similar muestra que un bloque de longitud 3*k* tuvo con anterioridad que haberse repetido tres veces en la secuencia.

El único caso restante es cuando un bloque de al menos cuatro dígitos, y de un número que no es múltiplo de 3, se repite tres veces. En este caso la demostración se hace más complicada. Para ver la idea, supongamos que la longitud sea de cuatro dígitos, con lo que la secuencia contiene un bloque de la forma *abcdabcdabcd*. Uno de los tres primeros términos tiene que ser tiple; supongamos, por ejemplo, que es *c*. En tal caso el bloque es realidad *ab0da**b**0d**a**b0**d***.

Pero cada tercer término —marcado en negrita— contado desde el primer 0 también es tiple, por lo que $b = a = d = 0$. El bloque entero es entonces 000000000, que está descartado en el primer caso. Razonamientos similares valen cuando *a*, *b*, o *d* es tiple. Una variante más prolija del mismo tipo de razonamiento vale para cualquier bloque cuya longitud no sea múltiplo de 3.

Acuse de recibo

A propósito de la sección de marzo de 1995, "Deshojando la margarita", que describía un modelo dinámico explicativo de la aparición de números de Fibonacci en las plantas, he recibido abundante correspondencia.

John Case, de Ladysmith, en Canadá, señalaba que la razón áurea aparece por doquier en el dodecaedro. Es, por ejemplo, la razón del radio de la esfera inscrita en el sólido al radio del círculo inscrito en una cara. Ha descubierto además un nuevo procedimiento de aproximación de la cuadratura del círculo, basado en la igualdad $\pi \cong 6\varphi^2/5$.

J. Th. Verschoor, de Nimega, en Holanda, preparó un programa de ordenador para investigar los ángulos de divergencia formados a partir de sucesiones de Fibonacci "anómalas" en las que se ha cambiado el segundo término y ha descubierto ciertas relaciones entre las distintas sucesiones de este tipo.

Libros

Antonio Arnáiz, Luis Alonso, Eduardo Battaner y Javier de Lorenzo

Genética

De poblaciones humanas

THE HISTORY AND GEOGRAPHY OF HUMAN GENES por L. L. Cavalli-Sforza, P. Menozzi y A. Piazza. Princeton University Press; Princeton, 1994.

Este libro es una verdadera enciclopedia imprescindible para el estudio de los genes de las poblaciones y la evolución humana. Contiene tablas de las frecuencias de los diferentes genes de las poblaciones y de los correspondientes mapas de frecuencias génicas. En paralelo, el lector hallará datos, difíciles de encontrar reunidos en otras fuentes, sobre historia, arqueología, lingüística y evolución humana.

La obra se divide en varias partes. La primera expone los métodos empleados para procesar los datos de frecuencias génicas entre poblaciones y otras nociones básicas de la disciplina. A continución, se estudian las poblaciones de cada continente desde un enfoque pluridisciplinar; la singularización poblacional se efectúa con datos no sólo genéticos, sino también antropométricos, históricos y lingüísticos. Este brillante método de estudio va seguido de las tablas de las frecuencias génicas de las poblaciones y de los correspondientes mapas.

Es la multidisciplinaridad y el análisis comparativo lo que confiere, a mi juicio, un gran valor y originalidad al trabajo, y lo que lo distingue de otros anteriores que se limitaban a reseñar las frecuencias génicas.

Si bien cada población de cada parte del mundo está bien documentada, es de resaltar la excelente exposición de los caracteres genéticos de italianos y sardos, campo en que Alberto Piazza es experto. La parte sobre la península Ibérica recoge los recientes estudios de Cavalli-Sforza y Jaume Bertranpetit.



Las cinco regiones étnicas principales de Europa. España aparece teñida de verde que representa a las poblaciones mediterráneas, salvo la cornisa cántabra, de predominio celta

Se abordan las relaciones entre las poblaciones humanas, a través sobre todo del análisis filogenético. Se han utilizado datos disponibles de genes, recogidos por múltiples autores, pero han sacrificado ciertos tipos. Lo que no deja de ser un inconveniente, puesto que no se estudian los genes HLA, uno de los sistemas más polimórficos existentes y útiles para diferenciar poblaciones. Tampoco los últimos datos del polimorfismo, incluidos los de secuencia de ADN de estos genes HLA, han podido incluirse en muchos de los análisis. Quizás el gran polimorfismo HLA, que puede en gran parte haber surgido en los últimos 10.000 años, no sea susceptible de ser tratado satisfactoriamente mediante el valor Fst (coeficiente de co-ancestralidad), que es la base utilizada por la obra para la comparación entre poblaciones, ya que Fst tiene sentido si no han surgido nuevos alelos en el tiempo estudiado.

Otro inconveniente, quizá más serio, es el empleo del método UPGMA, que no toma en consideración las diferencias de número total de individuos que han existido en las poblaciones, "cuellos de botella" incluidos. Así, todas las medidas obtenidas por el método UPGMA están afectadas por estos cambios en el tamaño de cada población y su correspondiente variación en el nivel de heterozigosidad. Probablemente sea necesario recalcular los datos con el método de construcción de árboles de "unión de vecinos" (*neighbour joining*), que evita los errores mencionados; esto es especialmente importante en los cálculos en los que intervienen ciertas poblaciones, como los amerindios, ya que decenas de millones de ellos murieron en el curso de unos 100 años por el contacto con patógenos que les llevaron los europeos: viruela, gripe y sarampión.

En resumen, si bien sería necesario en el futuro hacer algunas correcciones metodológicas, como un mayor uso de los datos sobre genes HLA y el método del dendrograma citado, amén de incluir los últimos datos de alelismo real en las poblaciones y loci disponibles, la obra es de gran valor. (A. A.)

Ciencia medieval

Etapas

DIE ARTES LIBERALES IM FRÜHEN MITTELALTER (5.-9Jh.), por Brigitte Englisch. Franz Steiner Verlag; Stuttgart, 1994. **THE NEW CAMBRIDGE MEDIEVAL HISTORY**. Volumen II c. 700-c. 900. Dirigido por Rosamond McKitterick. Cambridge University Press; Cambridge, 1995.

MANUSCRIPT SOURCES OF MEDIEVAL MEDICINE. Dirigido por Margaret R. Schleissner. Garland Publishing; Nueva York, 1995. **COMPRENDRE ET MAITRISER LA NATURE AU MOYEN AGE**. VV. AA.; Librairie Droz; 1994.

A HISTORY OF ARABIC ASTRONOMY, por George Saliba. New York University Press: New York, 1994. **OPTICS, ASTRONOMY AND LOGIC STUDIES IN ARABIC SCIENCE AND PHILOSOPHY**, por A. Y. Sabra. Variorum; Aldershot, 1994.

Si la tesis doctoral debe ser resultado de una investigación de excelencia, la de Brigitte Englisch cumple esa condición con creces. Hasta el punto de que *Die Artes liberales im frühen Mittelalter* constituye una obligada introducción a la ciencia altomedieval. Postula allí que el cuadrivio y el cómputo del tiempo son los indicadores de la continuidad y la restauración de las ciencias exactas de la Antigüedad. Centra su examen en las siguientes obras y autores: *Commentarii in somnium Scipionis* de Macrobio Ambrosio Teodosio (s. IV-V), *Satyricon o De nuptiis Mercurii et Philologiae et de septem artibus liberalibus libri IX* de Marciano Capella (s. IV-V), *Institutiones* de Casiodoro (s. VI), *Etymologiarum sive originum libri XX* de Isidoro de Sevilla (s. VII), *De Natura rerum* de Beda el Venerable (s. VIII) y *De universo* de Rabano Mauro (s. IX). Por lo que concierne al cómputo: *De temporum ratione* de Beda y *De computo* de Rabano Mauro. Un período de cinco siglos que admite muchas interpretaciones.

Englisch sistematiza bien las diversas soluciones de un problema espinoso, a saber, el de la transición del mundo clásico al altomedieval. Un hiato catastrófico para unos, proceso continuo para otros, intermedio entre ambos polos para unos terceros. Aporta, además, un ajustado resumen biográfico de cada autor, con un análisis pormenorizado de su aritmética, geometría y astronomía. Para dedicar el resto de la obra al cómputo, inspirándose en los trabajos de Arno Borst.

Macrobio funde ciencia grecorromana y neoplatonismo en el *Comentario al sueño de Escipión*. Sus fragmentos sobre aritmética pitagórica, cosmografía, geografía del mundo y la armonía de las esferas le convirtieron en uno de los autores más leídos de la Edad Media. Por su lado, los *Nueve libros sobre las bodas entre Mercurio y Filología y sobre las siete artes liberales* de Capella es una alegoría pedagógica, donde Mercurio personifica la elocuencia y el ingenio y Filología simboliza el amor a la razón. A la ceremonia asisten siete doncellas, las siete artes liberales. En el libro VIII describía las órbitas circumsolares de Venus y Mercurio. Adoptó la noción pliniana de la fuerza de los rayos solares como causa de las variaciones regulares en las trayectorias planetarias y luego aplicó el mismo mecanismo para explicar la restricción de Venus y Mercurio en la vecindad del Sol. Capella no es un creador, sino un compilador que aprovecha materiales de Varrón, Plinio, Euclides y Apuleyo. Muy pronto su obra se erigió en la enciclopedia por excelencia de la Edad Media y en el manual que consagró el canon septenario de las artes liberales, constituido por el *Trivium* —gramática, retórica y dialéctica—, y *Quadrivium* —aritmética, geometría, astronomía y música.

Casiodoro, discípulo, compañero y sucesor de Boecio, carecía de la potencia intelectual de éste. Boecio cierra el período romano que languidece en eclecticismo neoplatónico; Casiodoro abre con las *Instituciones* la mentalidad medieval, que tardará siglos, sin embargo, en adquirir voz propia.

En las *Etimologías* Isidoro se propone recopilar los restos de la cultura antigua y considera la enciclopedia como el medio más eficaz. Pero no suele beber en fuentes directas, sino en los gramáticos, retóricos y mitógrafos de la decadencia. Pese al título no se trata de un trabajo etimológico estricto; piensa que, penetrando en el sentido exacto de las palabras, llegaremos a la naturaleza de las cosas. Los seres del mundo se escalonan en un orden ascendente de perfección: inertes, vivientes, irracionales, racionales, mortales e inmortales. El hombre es un microcosmos, una especie de imagen o compendio del mundo.

Lo que Isidoro supone en España, Casiodoro en Italia, Gregorio de Tours en Galia, Beda lo significa en Inglaterra. Ingresó a los siete años en la abadía de Wearmputh-Jarrow y allí permaneció hasta su muerte. Dominó las artes liberales, amén de la historia y la medicina. Sobre todas ellas escribió con autoridad. Aquí interesan sus tratados sobre el cómputo y la naturaleza de las cosas. Llamábase "cómputo" la ciencia de calcular el tiempo y el arte de construir calendarios. De su interés dan fe el ingente número de manuscritos que contienen tablas con glosas textuales.

De entre las figuras del renacimiento carolingio Englisch destaca la de Rabano Mauro, que enseñó en la famosa abadía de Fulda. Autor prolífico, separa la superstición de la ciencia verdadera. La aritmética enseña las propiedades místicas de los números y a penetrar en su sentido alegórico. La geometría fue empleada para los constructores del templo y del tabernáculo. La astronomía sirve para calcular el tiempo y hacer el cómputo de la pascua.

Mas, para entender el marco histórico de los postreros siglos abordados en el estudio de Englisch, el período de dominio franco y carolingio de Europa occidental, no veo obra mejor que el recentísimo volumen de la *New Cambridge Medieval History*. Esta prestigiosa serie que ahora se remoza con la incorporación de medievalistas de todas las disciplinas y naciones debiera ocupar un puesto de privilegio en las bibliotecas de consulta. No sólo sintetiza lo avanzado en los últimos setenta años y sugiere nuevas vías de indagación, sino que además rezuma un talante regeneracionista, crítico con los onfalocentrismos nacionalistas y abierto al progreso de Europa como un todo.

El dominio franco plantea problemas especiales para el historiador, reconoce Rosamond McKitterick, que derivan del sesgo de las fuentes. En efecto, si nuestra comprensión de ese período dependiera de los anales carolingios, nos veríamos obligados a aceptar la primacía franca, orgullosa de sus escuelas y cultura. Por fortuna, sin embargo, se equilibra la balanza con otras categorías de pruebas: cartularios, legislación civil y eclesiástica, catastros, inventarios de bibliotecas, sellos, monedas, inscripciones, miniaturas, armas, joyería, escultura y arquitectura.

Los complejos palaciales desenterrados en Aquisgrán, Ingelheim y Pliska, las fortunas de los emporios comerciales de Dorestad, Hamwic, Hedeby y Quentovic, el notable nivel de las construcciones monásticas de

San Vicenzo al Volturno, el ejercicio del patronazgo y exhibición de riqueza evidente en la abundancia de joyería, trabajo en metales y esculturas que adornan las iglesias y tesoros, completan nuestra información.

La lengua oficial es el latín. Los primeros manuscritos medievales de Inglaterra, Galia, España e Italia contienen diversas innovaciones; una de ellas concierne a la forma de puntuación para indicar la estructura de sentencias, la posterior sucesión de unciales, semiunciales y minúsulas.

El patronazgo real carolingio fomentó la difusión del saber. La corte creó la escuela palaciega. Los obispos Claudio de Turín, Teodulfo de Orleans, Hincmaro de Reims y los abades Rabano Mauro de Fulda y Lupo de Ferrières convirtieron sus catedrales y monasterios en centros intelectuales. Las bibliotecas abastecían las escuelas, muchas de las cuales ofrecieron instrucción continua para dos o tres generaciones de maestros. Los libros anglosajones, irlandeses, lombardos, romanos, visigóticos e incluso bizantinos comenzaron a circular por Francia. Enseñanza para todos. Cuando Hincmaro de Rheims recomendó que no se enseñara a las *puellulae* en el mismo lugar que a los chicos está reconociendo la educación de la mujer. Los mejores alumnos iban de un centro a otro: Heirico de Auxerre pasó varios años en Soissons antes de volver a Auxerre. Lupo de Ferrières envió monjes de su abadía a Prüm para aprender alemán. Hasta setenta escuelas florecían en el siglo nono. La mayoría se concentraban en cuatro regiones: norte del Loira, Italia septentrional, la Marca Hispánica y Septimania.

A las obras de los gramáticos latinos, irlandeses y anglosajones debemos sumar los comentarios de Alcuino y Sedulio Scottus. Las *Ars maior* y *Ars minor* de Donato, por ejemplo, podrían completarse con los comentarios de Scottus sobre esos textos o con la *Ars Laureshamensis*. El *Liber Glossarum*, el glosario más importante de todos, con más de 500.000 entradas, constituyó una verdadera enciclopedia del lenguaje y la vida diaria. En el proceso de parafrasear y comentar el texto y de desarrollar el "sentido" de doctrinas gramaticales de un autor, los maestros irlandeses del siglo nono y sus alumnos refinaron un método que se expandió a otras áreas. La técnica consistía en una inquisición constante casi formularia (*Querendum est; Quaestio*) de la justificación de las doctrinas, comparación con los modernos y consulta de autoridades. Los comentarios solían empezar con una introducción, organizada en torno a la vida del autor, explicación del título, naturaleza del texto e intención del autor, partes y resumen de la obra.

Pero la gramática no era el único componente del saber. Cuando los maestros carolingios organizaron la enseñanza, abandonaron el esquema de las siete artes liberales. La recuperación de las *Categorías* de Aristóteles, los *Opúsculos* de Boecio y el *De Trinitate* de san Agustín renovó los estudios dialécticos. Los alumnos estudiaban las matemáticas por obvias razones prácticas. La *Admonitio Generalis* requería dominar el cómputo para extraer los diezmos y dividirlos en cuartos, para tasar las cosechas del campo y las rentas de los campesinos.

El vasto programa arquitectónico de los reinos carolingios promovió el estudio de la geometría y la arquitectura, según queda de manifiesto en las proporciones de los edificios. Los movimientos y características de los cuerpos celestes fascinaron a los observadores carolingios. Dungal fue llamado por el Carlomagno para que le explicase el eclipse solar del 810.

En Fulda y Corbie se dispensaba enseñanza formal de las artes "mecánicas" o "menores": agrimensura, roturación de la tierra, nivelación y cantería. La medicina fue otra arte práctica estudiada en las escuelas. Clérigos y laicos, familiarizados con la medicina popular, atendían a los enfermos. Pero hubo también médicos formados en escuelas, donde se leían fragmentos de Hipócrates, Galeno, Oribasio, Dioscórides, Sorano, Alejandro de Tralles, Teodoro Priscianus, Plinio, Quinto Sereno, Casio Felix y Marcelo Empírico.

Del tránsito de esa medicina a la bajomedieval se nos habla en *Manuscript Sources of Medieval Medicine. A Book of Essays*. La importancia de los manuscritos no puede sobreestimarse, muchos de los cuales descansan sin descubrir ni editar en los archivos. Los autores de estos ensayos abordan algunos ejemplos, con diferentes perspectivas, objetivos diversos y resultados dispares. ¿Cuál fue la relación entre conocimiento médico en forma escrita y la práctica médica? ¿Cómo se produjo, organizó y circuló el conocimiento médico? ¿Qué nos dicen los manuscritos sobre la audiencia, pretendida o real?

Del mundo alemán se ocupa Bernhard Schnell. Pero no sólo examina los primeros textos médicos, sino que también despliega los principios metodológicos basados en la *Uberlieferungsgeschichte* (estudio de los textos desde la perspectiva de la transmisión manuscrita y sociología de la literatura). Cada manuscrito revela dos aspectos complementarios de la transmisión textual: por un lado, el propio texto; por otro, el contexto codicológico. La síntesis de ambos ilumina las diversas gradaciones de mutación textual y aporta nuevos datos sobre la literatura y cultura ilustrada medieval.

Los textos médicos constituyen un 10 por ciento de todos los manuscritos vernaculares alemanes que nos han llegado; el resto son obras poéticas y prosa religiosa. El comienzo de la literatura médica alemana está marcado por dos textos farmacológicos: un lapidario (*Prüller Steinbuch*) y un herbario (*Prüller Kräuterbuch*), que deben su nombre al monasterio benedictino de Prüll en Regensburg. La literatura médica medieval en alemán de este período pertenece a la "medicina monacal".

Gundolf Keil y Peter Murray Jones aplican los principios metodológicos mencionados a sendos manuscritos. Keil examina el trasfondo y la importancia de los textos médicos transmitidos en el *Codex Berleburg*, del siglo XII, ejemplo de un *Sammelhandschrift* alemán medieval que contiene textos en latín y alemán de las siete artes liberales, medicina incluida.

Había también información médica en los manuscritos calendáricos, abordados aquí por Faith Wallis. Cuando la astrología judiciaria llegó a Occidente en los siglos XII y XIII a través de las traducciones de las fuentes griegas y árabes, las ideas del tiempo astronómico experimentaron cambios profundos. Su impacto en medicina fue notable. Los planetas se sumaron al Sol y la Luna como criterios para ordenar el régimen dietético o predecir el pronóstico de una enfermedad.

Melitta Weiss Adamson y William Crossgrove analizan sendos manuscritos de los que existen ediciones impresas tempranas. Adamson investiga la tradición manuscrita de la *Physica* de Hildegard de Bingen, en particular con respecto a los cinco manuscritos recién descubiertos. Crossgrove examina la materia médica transmitida en un manual de agricultura, los *Doce libros sobre las prácticas rurales*, de Petrus de Crescentiis, de comienzos del siglo XIV, obra que ejerció bastante influencia en el Renacimiento.

Especialista destacado en la ciencia española de mediados del XII y XIII es el destinatario del libro homenaje *Comprendre et maîtriser la nature au Moyen Age. Mélanges d'histoire des science offerts à Guy Beaujouan*. Desde su tesis de la Ecole de Chartes, en 1944, Beaujouan escogió consagrarse a la historia de la matemática en la Edad Media. Entiende así su labor: "El trabajo verdaderamente fecundo consiste, en mi opinión, en comparar los numerosísimos tratados o comentarios en apariencia casi idénticos. En medio de las repeticiones, a menudo fastidiosas, las disparidades son reveladoras: ellas fijan la cronología de un eventual progreso; permiten sobre todo caracterizar, en todo conocimiento de causa, la influencia ejercida sobre el pensamiento propiamente científico, a veces contradictoria, de la filosofía escolástica."

Sobresale la colaboración de Emmanuel Poulle, discípulo suyo de primera hora, sobre las *Tablas meridianas de Toulouse* incorporadas en el calendario cristiano. Desde 1239 Richard de Fournival se sirvió de ellas para calcular su autobiografía astrológica. Sin embargo, la aparición, a partir de 1320, de las tablas alfonsinas provoca su arrinconamiento, igual que el de todas las tablas fundadas sobre la octava esfera (es decir, sobre las coordenadas siderales). Su vida es, pues, relativamente corta, si se la compara con la de las tablas de Toledo, traducidas al latín en el siglo XII, o la de las tablas alfonsinas que conocieron tres siglos de difusión intensa. Pese a ello, las tablas de Toulouse presentan unas características técnicas que merecen atención: los movimientos se evalúan sobre la octava esfera, las posiciones se expresan en signos de treinta grados, las raíces están en el meridiano de Toulouse, las referencias cronológicos están exclusivamente en el calendario cristiano, el año comienza el primero de marzo, a mediodía, y el ciclo de los *anni collecti* es de 24 años. Tres tablas árabes traducidas al latín alimentaron, en los siglos XII y XIII, las tablas latinas: las tablas de al-Hwarizmi, las de al-Battani y las de Toledo. Las de Toulouse proceden de las de Toledo.

Se suman a la efémeride algunos autores hispanohablantes. Pedro Gil-Sotres coteja el enfoque filosófico y el médico a propósito de las pasiones del alma. Fuerza quizás una contraposición inexistente donde sólo hay énfasis distinto. En su opinión, frente a una visión psicológica propia de la filosofía, los médicos medievales subrayaron las características clínicas de la vida afectiva y utilizaron un modelo no totalmente superponible al transmitido por la psicología filosófica. Los filósofos explicaron el sistema emocional en torno a dos ejes principales. El primero está constituido por una concepción finalista que supone que las pasiones se definen en virtud de un objeto externo ante el cual el hombre se aproxima o se aleja, según que el sujeto lo perciba como un enriquecimiento o como una amenaza para su equilibrio. De una manera harto esquemática relata Taddeo Alderotti (enfoque médico) las causas de los accidentes del alma. Concurren dos: una primera causa —no corpórea— es la valoración que hace la mente, captando el objeto exterior que va a desencadenar la emoción; cuando el alma aprehende una cosa que produce miedo, se desencadena el accidente llamado temor. La segunda causa es corporal y no es otra cosa que los movimientos del "calor natural o de los espíritus".



Trono de Carlos el Calvo (Cathedra Petri). Basílica de San Pedro, Vaticano

Los medievales se aplicaron con tenacidad a desentrañar el concepto de naturaleza, pilar en el que fundarían todas las ciencias, de la física al derecho y la ética. A él se aproxima Chantal Connochie-Bourgne en su monografía sobre la *Image du monde*, de Gossuin de Metz. Pero si partimos de la idea de naturaleza como principio de movimiento, sacaremos más provecho con el ensayo de Stefano Caroti: "La percepción del movimiento según Nicolás de Oresme". Escribió éste unas *Cuestiones sobre física*, redescubiertos por Beaujouan entre los manuscritos de Hernando Colón. Oresme relaciona la naturaleza con el movimiento y con el reposo.

No puede entenderse el mundo bajomedieval ni el humanismo sin la ciencia árabe. Abundantísima la bibliografía en los últimos años, dos libros pueden servirnos de introducción:

Optics, Astronomy and Logic Studies in Arabic Science, de A. Y. Sabra, y *A History of Arabic Astronomy. Planetary Theories during the Golden Age of Islam*, de George Saliba. Sabra compila aquí sus artículos preferidos sobre la óptica de Ibn al-Haytham (Alhacén) y recupera los dedicados al postulado de las paralelas de Euclides y la silogística de Avicena. Me detendré, sin embargo, en el ensayo sobre la recepción árabe de la ciencia griega.

Al interpretar la ciencia árabe deben evitarse dos ismos habituales en la explicación de cualquier fenómeno cultural, el reduccionismo y precursorismo. Según el reduccionismo, los logros de los científicos islámicos serían pura apostilla de los griegos. La interpretación precursorista lee el futuro en el pasado. Uno y otro extremos eluden estudiar los hechos tal como ocurrieron, en su propio contexto. La transmisión de la ciencia griega al Islam fue un proceso complejo en el que la traducción estuvo condicionada por una tradición académica anterior y mediatizada por el lenguaje y la nueva religión. Se trata, en definitiva, de un fenómeno de entrecruzamiento de culturas.

En el decurso de la historia, parte de la ciencia islámica sirvió de nexo entre la antigüedad y el medievo latino. Por esa función mediadora, muchos consideraron el período islámico una etapa de recepción, conservación y transmisión. Pero el término recepción tiene una connotación de pasividad que no cabe aplicar al caso. Hubo, recalca Sabra, apropiación, reelaboración de un legado. Aunque no eran musulmanes los agentes de esa transmisión (los Hunayn y Thabit), su actividad fue alentada y pagada por la corte califal. Sin ese apoyo no podrían haberse procurado los manuscritos griegos, ni fundar el Bayt al-Hikma, la gran biblioteca e instituto que los abásidas establecieron en Baghdad. Un exponente de ese talante en el siglo IX fue Abu Yusuf Yaqub ibn Ishaq al-Kindi, hijo de gobernador. Al-Kindi no sólo dominó la ciencia y filosofía griegas, sino que escribió también contra el fundamentalismo religioso y el aislamiento. Siendo él árabe y musulmán, al-Kindi haría más por la causa helenística que cualquiera de sus maestros cristianos.

La promoción abásida del saber estuvo además motivada por razones de orden práctico, con particular aprecio por médicos, astrólogos e ingenieros. Los astrólogos decían poder predecir los acontecimientos terrestres y cósmicos de interés; el desarrollo de su trabajo necesitaba tiempo y equipo necesario (bibliotecas y observatorios) para llevar a cabo sus investigaciones matemáticas y astronómicas. Los ingenieros supervisaban el trazado de las ciudades, la erección de edificios, el tendido de puentes y canalización de cursos de agua. En el siglo XIII apareció la figura del *muvaqquit*, matemático-astrónomo adscrito a la mezquita. Misión suya era confeccionar tablas para la determinación de los tiempos de las cinco plegarias diarias del lugar.

Sobre el problema del declive de la ciencia árabe tiene Saliba sus propias ideas. En un comienzo, la expresión *ilm al-nujum* (ciencia de las estrellas) remite a la astrología y la astronomía conjuntamente. De forma más precisa, la astrología —definida en el siglo nono por Abu Mashar como "conocimiento de los efectos de los poderes de las estrellas, en un tiempo dado, así como en el tiempo futuro"— se denomina *ilm ahkam al-nujum* (ciencia de los decretos de las estrellas), *ilm al-ahkam*, o simplemente, *ahkam* o *tanjim* (adivinación por las estrellas). La astronomía es, con mayor propiedad, *ilm al-falak* (ciencia de las esferas) o *ilm al-haya* (ciencia de las configuraciones celestes). Al-Nadim, en torno al 900, caracterizó las obras de al-Nayrizi, el comentarista del *Almagesto* y los *Elementos* de Euclides, como más *haya* (astronomía) que *nujum* (astrología).

El siglo XI es el de al-Haytham, de Abu Ubayd al-Juzjani, Biruni y otros. Fue una centuria crítica que, tras advertir los errores de Ptolomeo, profundiza en los fundamentos de la ciencia de la astronomía y en la necesidad de armonizar los principios teóricos con datos observacionales.

Sea el caso del movimiento del apogeo solar. Ptolomeo lo fijaba en Géminis 5;30º. La reacción de los astrónomos musulmanes variaba desde la mera corrección de Ptolomeo, sin ulterior comentario, a una atención especial al problema y explícito desacuerdo con el valor ptolemaico en favor del hallado por la observación. Biruni dio un paso adelante, convirtiéndose en el primer astrónomo musulmán en establecer que el apogeo solar no sólo participa del movimiento de precesión, como Ptolomeo prescribía para los demás planetas, sino que él también tenía su propio movimiento. Las observaciones forzaron también a los astrónomos musulmanes a corregir el valor de la precesión y a darle un valor mucho más próximo al moderno.

Más profunda fue la crítica contra las contradicciones filosóficas de la astronomía de Ptolomeo. Aducía éste en las *Hipótesis planetarias* que las esferas planetarias eran realmente cuerpos físicos y no hipótesis matemáticas, como parecía inferirse del *Almagesto*. Los modelos planetarios propuestos por Ptolomeo presuponen la existencia de un punto matemático, más tarde denominado ecuante, en torno al cual los epiciclos planetarios se mueven a velocidad uniforme. Este concepto deviene absurdo cuando se admiten esferas físicas, por cuanto tendría que aceptarse la imposibilidad mecánica de permitir que una esfera se mueva a velocidad uniforme en torno a un eje que no pasa por su centro.

En la parte oriental del Islam, durante el siglo XIII, Muayyad al-Din al-Urdi escribió un tratado para reformar la astronomía ptolemaica. Un siglo después, Ibn al-Shatir, de Damasco, creaba nuevos modelos. Saliba relaciona esa tendencia reformista con la revolución copernicana. Sabra llamaría a esto precursorismo. (L. A.)

Física de plasmas

Introducción

PLASMA PHYSICS. AN INTRODUCTION TO THE THEORY OF ASTROPHYSICAL, GEOPHYSICAL, AND LABORATORY PLASMAS, por Peter A. Sturrock. Cambridge University Press; 1994.

Este libro de Peter A. Sturrock es una introducción excelente a la física de plasmas, resultado de un curso impartido durante muchos años en la Universidad de Stanford. Con sucesivas modificaciones y ampliaciones, como una necesidad de sus varias generaciones de alumnos —que elaboraron los primeros apuntes embrionarios— el curso fructificó en este libro. Esta es indudablemente la mejor forma de elaborar un texto que pueda convertirse en referencia clásica; se aprovecha la experiencia del profesor, y especialmente se aprovecha la experiencia de los alumnos, cuyas sugerencias y críticas implacables son insustituibles.

Se tratan todos los capítulos básicos de la física de plasmas con suficiente rigor y claridad. Hay un extraño olvido de la difusión ambipolar, de tanto interés teórico como práctico. Destacaría los capítulos de pro-

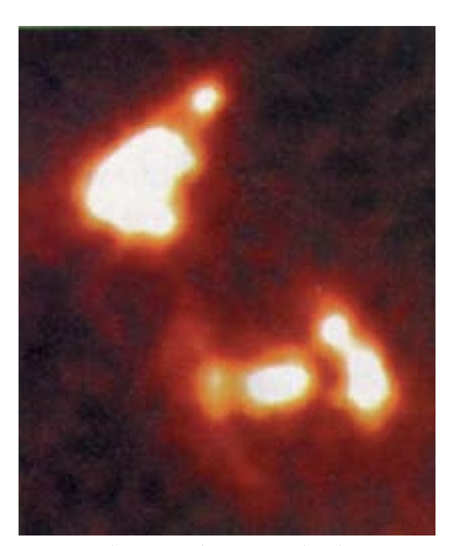


Imagen de una galaxia con desplazamiento hacia el rojo mayor que 1

pagación de ondas electromagnéticas en plasmas, como producto didáctico de calidad. La teoría de órbitas en presencia de un campo electromagnético se desarrolla de modo completo y eficaz, de forma que se logra una preparación adecuada para comprender muchos efectos de plasmas con colisiones, que se abordan más adelante. Hay una buena introducción a las inestabilidades y a la magnetohidrodinámica clásica.

Pero el título promete una introducción a los plasmas geofísicos y astrofísicos, que en realidad resulta pobre y dispersa. Esta no tiene asignados capítulos propios, sino que se hacen aplicaciones esporádicas según se va desarrollando la teoría general. Lo malo es que hay muchas ausencias injustificadas.

En geofísica se tratan sólo cuestiones parciales de la magnetosfera. En astrofísica, el libro presenta un buen capítulo de los campos libres de fuerza, por lo que las aplicaciones en la física solar no están mal representadas. Pero falta un capítulo sobre el medio interestelar, gas ionizado de gran importancia en astrofísica. No se habla de efectos dinamo en el cosmos, ni del plasma intergaláctico, ni de los campos magnéticos en chorros, ni de la emisión de sincrotrón en el cosmos, ni de la influencia del campo magnético en la formación estelar, etc, etc. Sin la más mínima alusión a estos temas, el estudiante quedará mal informado y quizá defraudado.

En definitiva, es una buena introducción a la física de plasmas, pero una escasa y poco representativa introducción a los plasmas geofísicos y astrofísicos. Si se le quitara el subtítulo, sería un buen libro. (E. B.)

Infinito

Matemático y filosófico

INFINI DES MATHEMATICIENS, INFINI DES PHILOSOPHES. Dirigido por Françoise Monnoyeur. Belin; París, 1992.

A fines del siglo XIX el hacer matemático, al tomar como elemento constitutivo el sistema o conjunto, pasó a manejar el concepto de conjunto infinito, hasta el extremo de poder considerar a la matemática como la ciencia del infinito. Pero el término infinito es un término borroso, con multitud de acepciones. Multitud de matices causa, a primeros de este siglo, de la aparición de antinomias o paradojas precisamente en la disciplina considerada más exacta de todas. Hilbert, en 1926, llegó a proclamar que la “definitiva clarificación de la naturaleza del infinito se ha hecho necesaria, no sólo por el interés de las ciencias individuales, sino por el propio honor del entendimiento humano”. Clarificación que, afortunadamente, no logra ser definitiva.

A fines del siglo XX, el hacer matemático está tomando como elemento constitutivo el algoritmo o proceso computacional. Algoritmo que, por naturaleza, tiene un carácter finitista. Consecuente, ramas del hacer matemático —las que adoptan el sistema como punto de partida y, con él, las totalidades infinitas— parecen quedar marginadas. El laberinto del infinito sigue en pie.

Y, ya que no una clarificación definitiva, al menos se puede intentar una orientación en ese laberinto. Es el objetivo de esta compilación de ensayos editada por Monnoyeur. Evocar algunos momentos en los cuales la noción de infinito se hace tema de discusión. Monnoyeur señala que los momentos elegidos aquí son decisivos porque muestran cómo desde el infinito potencial de teólogos y filósofos se alcanza el infinito actual del matemático. Un llegar que muestra la connivencia que tiene la matemáticas con la filosofía. Tesis del editor discutible porque el matemático, como indicará en el prefacio Dieudonné, ha alcanzado cierto nivel de precisión en el manejo del conjunto infinito, diferente de las imprecisiones que se ligan a las discusiones filosóficas.

En lo que sí cabe estar de acuerdo es que un momento clave en cuanto a las reflexiones acerca del infinito se tiene en el siglo XIV. Hasta ese período, el único infinito aceptable es el potencial. Para Aristóteles el infinito actual no puede manejarse como objeto, carece de ser, por lo que se liga a imperfección. Y es en el ámbito simbólico, religioso, en el que la noción de infinito actual cobra todo su relieve. Del Ser Supremo no puede predicarse algo que sea imperfecto e incompleto; tampoco la finitud. Y el capítulo 1, a cargo de Biard, pone de manifiesto las tensiones entre la negación aristotélica del infinito en acto y una teología que atribuye a Dios una infinidad positiva. Los debates teológico-filosóficos en torno a esta tensión conducen a una serie de innovaciones conceptuales y análisis a diferentes niveles lingüísticos. Se abre la vía para que pueda aceptarse el infinito en acto no sólo en lo suprasensible, sino también en la *physis* a través de la consideración de la divisibilidad infinita de la materia.

Los bloques restantes podemos agruparlos en dos. Por un lado, filosófico: y se centra en la cosmología infinitista de Bruno (Seidengart); lo infinito y lo indefinido en teoría del conocimiento de Descartes (Monnoyeur); la distinta aceptación del infinito en pensadores como Pascal o Leibniz, pero ahora de un infinito con una inflexión ética y antropológica por la cual el hombre es un todo ante lo infinitamente pequeño, un nada ante lo infinitamente grande (Magnard); los cambios en el pensamiento acerca del infinito en Kant (Röd).

Por otro lado, ensayos matemáticos: la creación de la geometría proyectiva por Desargues, con la incorporación del punto del infinito, de la cónica del absoluto como elementos matemáticos y la concepción de un espacio no métrico (Szczeciniarz); la creación del cálculo infinitesimal y la justificación de los infinitamente pequeños por parte de Newton, de Leibniz, con los enfoques dinámico y estático que conllevaban las fluxiones o las diferenciales (De Gandt). Por último se plantea la paradoja de la reflexividad de los conjuntos infinitos, desde Leibniz a Bolzano (Sebestik). En este segundo bloque hay que incluir el posfacio de Sinaceur en el que se señala la inflexión producida por las corrientes constructivista en el hacer matemático tras los teoremas de Gödel que cortaron el paso al formalismo finitista de Hilbert.

Esta obra hubiera aparecido más completa de haber acogido algún ensayo propio del hacer global y, por supuesto, de algún capítulo dedicado a nociones topológicas. (J. L.)

Indice anual

Este índice contiene los nombres de los autores y los títulos de los artículos aparecidos en Investigación y Ciencia *a partir de ene ro de 1995.*

AUTORES

TITULOS

TALLER Y LABORATORIO

CREACIONES INFORMATICAS

JUEGOS MATEMATICOS

Seguiremos explorando los campos del conocimiento



EL SISTEMA INMUNITARIO DEL CEREBRO, por Wolfgang J. Streit y Carol A. Kincaid-Colton

Lo forman las células de la microglía. Esas células pueden traicionar su función protectora y desencadenar enfermedades neurodegenerativas y la demencia.

CLIMA CAOTICO, por Wallace S. Broecker

Se sabe que las temperaturas globales han variado considerablemente en sólo uno o dos decenios. ¿Podría estar preparándose otro salto?

MEMORIAS HOLOGRAFICAS, por Demetri Psaltis y Fai Mok

Al cabo de más de treinta años, los investigadores están a punto de utilizar hologramas para almacenar datos en unas memorias que conjugan rapidez y enorme capacidad.

LOS ACUIFEROS KARSTICOS ESPAÑOLES, por Antonio Pulido Bosch

Las calizas y dolomías constituyen acuíferos kársticos que deben desempeñar un papel relevante en la gestión de los recursos hídricos.

EL SENTIDO BIOLOGICO DE LA VIDA, por Richard Dawkins

Los seres humanos siempre se han preguntado por el sentido de la vida. Según el autor, la vida no tiene un sentido más allá de perpetuar la supervivencia del ADN.

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS X, por Graham Farmelo

En noviembre de 1995 se cumplieron cien años desde que Wilhelm Röntgen obtuviese por azar las primeras imágenes de rayos X.

LA CIENCIA DEL MALABARISMO, por Peter J. Beek y Arthur Lewbel

El estudio de la destreza en el lanzamiento y recepción de bolas y aros permite calar en la coordinación en los humanos, en la robótica y en las matemáticas.

LA MISION GALILEO, por Torrence V. Johnson

La llegada de la sonda Galileo *a Júpiter señala el final de una larga odisea. Con las fotografías obtenidas, astrofísicos y astrónomos podrán conocer mucho mejor el planeta y sus satélites.*

